



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

PROYECTO FIN DE CARRERA

CONTROL FRACCIONARIO Y ADAPTATIVO DE UN CILINDRO NEÚMATICO

Autor: Laura de Lucas Barbosa

Tutores: Concepción Alicia Monje Micharet
Ramón Ignacio Barber Castaño

Leganés, mayo de 2011

Título: Control fraccionario y adaptativo de un cilindro neumático

Autor: Laura de Lucas Barbosa

Tutores: Concepción Alicia Monje Micharet y Ramón Ignación Barber Castaño

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día __ de _____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

En primer lugar, tengo que agradecerle a mi tutora, Concha, el tiempo y dedicación que me ha prestado durante todo este año y medio, primero con el trabajo dirigido y luego con este proyecto.

También a Ramón y a los estudiantes que han realizado trabajos complementarios al mio, con los que he trabajado conjuntamente (Manu y Miguel Angel). Gracias a todos ellos he conseguido terminar de una forma gratamente satisfactoria este proyecto, además de haber aprendido mucho sobre ingeniería de control y Matlab.

Los siguientes a los que dedico estos agradecimientos son a mis padres, Esperanza y Agustín, porque ellos son los que han vivido los mejores y peores momentos de estos años de estudio y además sin ellos no podría haberme permitido estudiar esta carrera.

Y también al resto de mi familia, en especial a mi hermana, mi abuela, mi padrino y mi primo, por los consejos y apoyo que me han dado.

Como no podía ser de otra forma, tengo que nombrar a mis amigos de toda la vida, los que perduran en el tiempo, que siempre son pocos. Y como no, a los amigos que he hecho en estos años, todos esos futuros ingenieros con los que tanto he trabajado y disfrutado, que no podría nombrar porque son muchos.

Es increíble que después de estos años de duro trabajo por fin este escribiendo los agradecimientos de mi proyecto de fin de carrera.

Laura de Lucas Barbosa
20 de Mayo del 2011

Resumen

El objetivo de este proyecto es comparar los resultados obtenidos sobre una plataforma neumática utilizando dos técnicas de control robusto diferentes sobre ella, el control fraccionario y el adaptativo.

Se hará una descripción detallada de cómo está constituida la plataforma, de su montaje físico y de las aplicaciones informáticas utilizadas.

La plataforma está formada por dos sistemas: el neumático y el eléctrico. El neumático lo componen una valvula de mantenimiento, una servoválvula, un actuador lineal y un potenciómetro lineal. El eléctrico lo está por un ordenador, una tarjeta de adquisición de datos, la parte eléctrica de la servoválvula y la señal obtenida del potenciómetro lineal.

Para controlar los dos sistemas se utiliza la herramienta de simulación de modelos *Simulink* del software *Matlab*.

Para el control fraccionario se utilizará una aplicación para calcular el valor de los parámetros que se necesitarán especificar en el circuito Simulink.

Para el control adaptativo se utilizarán las Leyes de Adaptación para calcular los parámetros de control que necesita el circuito.

La finalidad del proyecto consistirá en elegir el mejor tipo de control para obtener la mayor precisión posible en el posicionamiento del cilindro neumático así como una buena respuesta del sistema ante perturbaciones. Esta perturbación consistirá en la adición de una masa al cilindro.

La elección será la del control fraccionario porque además de conseguir mejores resultados que el adaptativo resulta ser un controlador mas sencillo de implementar.

Palabras clave: control adaptativo, control fraccionario, perturbaciones, cilindro neumático.

Abstract

The aim of this project is to compare the results obtained on a pneumatic platform using two different techniques of robust control: the fractional control and the adaptive control.

A detailed description will be made of how the platform is constituted, of its physical assembly and of the computer applications used.

The platform is formed by two systems: the pneumatic and the electric. The pneumatic is formed by a maintenance valve, a servo valve, a lineal actuator and a lineal potentiometer. The electric is formed by a computer, a data acquisition card, the electrical part of the servo valve and the signal obtained from the lineal adaptor.

In order to control the two systems, I use the Simulink tool of simulation of models from the Matlab software.

For the fractional control, I will use an application to calculate the value of the parameters that will be necessary to be specified in the Simulink circuit.

For the adaptive control, the Adaptation Laws will be used to calculate the control parameters that the circuit requires.

The aim of the project is to choose the best type of control so as to obtain the highest accuracy possible in the position of pneumatic cylinder and also a good answer of the system to the disruptions. This disruption will consist of an addition of mass to the cylinder.

The right choice will be the one of the fractional control, because it not only provides the best results but it is also easier to install.

Keywords: adaptative control, fractional control, disruptions, pneumatic cylinder.

Índice general

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Fases del desarrollo	2
1.4 Medios empleados.....	3
1.5 Estructura de la memoria.....	3
2. ELEMENTOS DEL SISTEMA.....	6
2.1 Esquema de la plataforma.....	6
2.2 Servoválvula.....	8
Definición	8
Conexionado y simbología	9
2.3 Potenciómetro lineal.....	10
Definición	10
Conexionado y simbología	10
2.4 Actuador lineal	11
Definición	11
Conexionado y simbología	12
2.5 Válvula de mantenimiento	12
Definición	12
Conexionado y simbología	13
2.6 Regla graduada.....	13
Definición	13
2.7 Peso	14
Definición	14
2.8 Tarjeta de adquisición de datos	15
Definición	15
Configuración	15
Conexionado y simbología	17

3. CONTROLADORES PID DIGITALES Y REAL WINDOWS TARGET	20
3.1 Conceptos generales	20
4. CONTROL FRACCIONARIO	23
4.1 Conceptos teóricos	23
4.2 Cálculo de parámetros	15
4.3 Resultados en simulación	27
Comportamiento sin controlador	28
Comportamiento con controlador	29
Comportamiento con perturbacion	31
4.4 Resultados en la planta real	33
Comportamiento sin y con perturbaciones	15
4.5 Conclusiones	36
5. CONTROL ADAPTATIVO	39
5.1 Conceptos teóricos	39
5.2 Cálculo de parámetros	42
5.3 Resultados en simulación	47
Controlador MRASP	48
Comportamiento sin perturbaciones	48
Comportamiento con perturbaciones	50
Controlador MRASPD	51
Elección entre MRASP y MRASPD	54
5.4 Resultados en la planta real	54
6. COMPARATIVA ENTRE ESTRATEGIAS.....	56
7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	59
8. BIBLIOGRAFÍA	62
9. ANEXOS	65

Índice de figuras

Figura 1. Plataforma real completa	7
Figura 2. Esquema neumático de la plataforma	7
Figura 3. Esquema general de la plataforma	8
Figura 4. Aspecto de la servoválvula [1].....	9
Figura 5. Símbolo de la servoválvula [1]	10
Figura 6. Aspecto del potenciómetro lineal [1].....	10
Figura 7. Símbolo del potenciómetro lineal [1]	11
Figura 8. Aspecto del actuador lineal [1]	11
Figura 9. Símbolo del actuador lineal [1].....	12
Figura 10. Aspecto de la válvula de cierre [2]	13
Figura 11. Símbolo de la válvula de cierre [1].....	13
Figura 12. Aspecto de la regla graduada [1]	14
Figura 13. Símbolo de regla graduada [1].....	14
Figura 14. Aspecto del peso [1]	15
Figura 15. Bloques Input/Output.....	15
Figura 16. Ventana librería de bloques Input/Output.....	16
Figura 17. Ventana de configuración de bloque Analog Input	17
Figura 18. Ventana de configuración de bloque Analog Output.....	17
Figura 19. Bornero de la PCI-1711S [3][10].....	18
Figura 20. Sistema de control digital con microprocesador	21
Figura 21. Ventana de elección de compilador	22
Figura 22. Herramienta para calcular el controlador fraccional.....	25
Figura 23. Valores introducidos a la aplicación	26
Figura 24. Esquema para el controlador fraccionario	27
Figura 25. Esquema Simulink para simulación de control fraccionario	28
Figura 26. Esquema Simulink sin controlador	28
Figura 27. Entrada y salida del modelo sin controlador.....	29
Figura 28. Entrada y salida del modelo controlado.....	29

Figura 29. Ley de control	30
Figura 30. Salida y señal de control del modelo controlado	31
Figura 31. Respuestas temporales del sistema para distintas masas con el controlador fraccionario	32
Figura 32. Señales de control del sistema para distintas masas con el controlador fraccionario	32
Figura 33. Esquema Simulink para funcionamiento real de la planta.....	33
Figura 34. Configuración del “solver”	34
Figura 35. Configuración de “Real-Time Workshop”	34
Figura 36. Salida sin y con perturbación en la plataforma real	35
Figura 37. Señal de control sin y con la perturbación	35
Figura 38. Salida real y simulada	36
Figura 39. Señal de control real y simulada	37
Figura 40. Modelo de control MRAS	41
Figura 41. Esquema general del sistema controlado	46
Figura 42. Esquema Simulink para simulación control MRASP.....	48
Figura 43. Salida del control adaptativo MRASP	49
Figura 44. Señal de control del control adaptativo MRASP	49
Figura 45. Salida sin y con masa del control adaptativo MRASP	50
Figura 46. Señal de control sin y con masa del control adaptativo MRASP	51
Figura 47. Esquema Simulink para simulación control MRASPD.....	51
Figura 48. Salida del control adaptativo MRASPD	52
Figura 49. Señal de control del control adaptativo MRASPD	52
Figura 50. Señal de salida del control adaptativo MRASPD mejorada	53
Figura 51. Señal de control del control adaptativo MRASPD mejorada	53
Figura 52. Salida de control fraccionario y adaptativo.....	57
Figura 53. Señal de control de control fraccionario y adaptativo	57

Índice de tablas

Tabla 1. Conexionado de la servoválvula	9
Tabla 2. Conexionado del potenciómetro lineal.....	10
Tabla 3. Conexionado de la PCI-1711S	18

Capítulo 1

Introducción y objetivo

1.1 Introducción

Los sistemas neumáticos se utilizan frecuentemente en la automatización de maquinaria de producción. Procesos como remachado, perforado, estampado, etc., pueden ser automatizados utilizando neumática, siempre que este sistema neumático disponga de un sistema de posicionamiento preciso.

El uso de actuadores neumáticos en aplicaciones industriales ha sido sustituido por el de los actuadores eléctricos, debido a la complejidad del sistema de control de los primeros respecto a los segundos. Los adelantos en tecnología electroneumática han dado como resultado una clase de actuadores proporcionales servoneumáticos, controlados electrónicamente, que han sido probados en sistemas de automatización ofreciendo una solución económica.

Las ventajas de los actuadores neumáticos residen en su alta relación fuerza/peso y su bajo coste, además de su facilidad de mantenimiento y limpieza en el funcionamiento. Sin embargo, presentan como principal inconveniente una dificultad de control debido a la presencia de no linealidades en todo su recorrido, debido a las propiedades del aire comprimido en su flujo.

Por otro lado, la determinación experimental del modelo del sistema neumático resulta fundamental para el buen diseño de la estrategia de control y del regulador en sí.

Los posibles modelos de control que se utilizarán se pueden probar en ausencia del sistema físico, pero para un buen diseño de la estrategia de control a seguir, es imprescindible la comprobación experimental de estos modelos.

1.2 Objetivos

El objetivo fundamental del proyecto es el de determinar la mejor estrategia de control para obtener la mayor precisión posible en el posicionamiento del cilindro neumático. En base a este objetivo principal, se proponen los siguientes objetivos parciales:

- Estudio del control fraccionario.
 - Comportamiento teórico
 - Comportamiento experimental
 - Comportamiento ante perturbaciones
- Estudio del control adaptativo.
 - Comportamiento teórico
 - Comportamiento experimental
 - Comportamiento ante perturbaciones
- Comparación de ambas estrategias y elección de la mejor.

Para las simulaciones y resultados experimentales se ha empleado Simulink junto con la *Toolbox* de tiempo real.

Durante la evolución del proyecto, la implementación del regulador adaptativo necesitaba trabajos adicionales, por lo que se decidió hacer el ajuste de los reguladores adaptativos en simulación y proponer un nuevo trabajo en esta línea a nivel experimental.

1.3 Fases del desarrollo

En primer lugar se tuvo que cambiar toda la plataforma a otro emplazamiento diferente del que se partía. Se paso del laboratorio de neumática a un nuevo laboratorio de investigación.

Al cambiar a otro ordenador más moderno, se utilizo una nueva tarjeta de adquisición de datos, de forma que se dejo de utilizar el adaptador de tensiones que hasta entonces era necesario para conectar la plataforma con el ordenador. Entonces se realizó la nueva conexión con esta tarjeta y se configuraron las características necesarias para su funcionamiento correcto.

Se procedió a relizar los estudios teóricos y experimentales con las distintas estrategias de control.

En el caso del control adaptativo únicamente se estudio su comportamiento teórico a través de la simulación en Matlab, por ser necesarias tareas adicionales fuera del alcance de este proyecto.

También se realizaron los estudios con el efecto de la perturbación (una masa que se fija al cilindro), comprobándose de forma experimental en el caso del control fraccionario.

A la vista de los resultados obtenidos, se compararon ambas estrategias de control y se realizo un estudio comparativo que se presenta al final de esta memoria.

1.4 Medios empleados

Los medios empleados en el desarrollo de este proyecto son numerosos y los podemos dividir en dos clases.

Los medios empleados en cuanto a *hardware* son:

- Ordenador Intel (R) Pentium (R) Dual CPU E2200 2.20GHz 1,99GB de RAM
- Tarjeta de adquisición de datos PCI 1711S
- Válvula de cierre
- Servoválvula o válvula proporcional de 5/3 vías
- Fuente de alimentación 24Vdc
- Actuador lineal
- Masa de 5Kg
- Potenciómetro lineal

En cuanto al software, se ha utilizado *Matlab*, en concreto:

- Simulink
- Aplicación para el cálculo de los parámetros del control fraccionario

1.5 Estructura de la memoria

Para facilitar la lectura de la memoria, se incluye a continuación un breve resumen de cada capítulo:

Capítulo 1: Se hace una introducción de las tecnologías en las que se centra el proyecto, los objetivos, desarrollo de las fases y medios empleados en el proyecto.

CAPÍTULO 1: Introducción y objetivo

Capítulo 2: Se tratará todo lo referente a la plataforma y a las partes que la componen. Se introduce cada parte y se exponen brevemente las características de cada elemento. Se describe el funcionamiento y configuración de la tarjeta de adquisición de datos así como la conexión de ésta con la plataforma.

Capítulo 3: Se hace una pequeña introducción a los dos aspectos básicos en los que se basa el proyecto; los sistemas de control digital con microprocesador y la simulación en tiempo real.

Capítulo 4: Se explicará al principio unas nociones básicas para saber en que consiste el control de orden fraccionario y conocer su principal característica y después se detallará todo el estudio realizado con este tipo de controlador. Utilizaremos una aplicación para hallar los parámetros del sistema. Se mostrará la configuración de *Matlab* necesaria para el funcionamiento de la plataforma. Se mostrarán los resultados simulados y los experimentales. Además, se perturbará al sistema para ver cómo se comporta este tipo de controlador ante cambios en la configuración del mismo.

Capítulo 5: Se hará lo mismo que en el capítulo anterior pero en esta ocasión para el controlador adaptativo, aunque sólo se realizará un estudio teórico.

Capítulo 6: Se compararán los dos tipos de controladores (el fraccionario y el adaptativo) para las mismas especificaciones y se discutirá cuál es la mejor elección.

Capítulo 7: Se expondrán las conclusiones a las que se han llegado y los posibles trabajos futuros y líneas de investigación con las que se puede continuar.

Capítulo 2

Elementos del sistema

2.1 Esquema de la plataforma

La plataforma esta formada por dos sistemas: el neumático y el eléctrico.

El neumático lo componen una válvula de mantenimiento (o de cierre), una servoválvula (o válvula proporcional de 5/3 vías), un actuador lineal (donde se colocará una masa) y un potenciómetro lineal.

Todos los elementos que forman este sistema son de la casa FESTO. Para más información sobre estos componentes se puedes consultar manuales [1][9].



Figura 1. Plataforma real completa

En la Figura 1 tenemos una imagen de la plataforma experimental, donde podemos observar todos los componentes del sistema. En la presentación del proyecto se incluirá un pequeño video con el funcionamiento físico de la plataforma.

En la Figura 2 se muestra el esquema de las conexiones neumáticas del sistema.

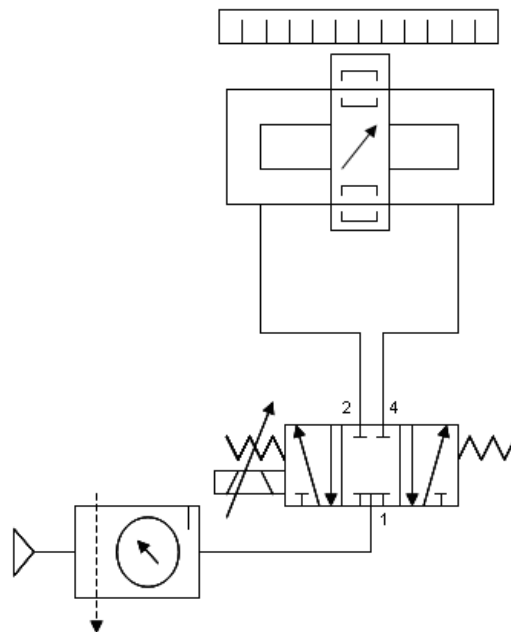


Figura 2. Esquema neumático de la plataforma

El sistema eléctrico lo forman un ordenador, una tarjeta de adquisición de datos, la parte eléctrica de la servoválvula y la señal obtenida del potenciómetro lineal.

En la Figura 3 se representa un diagrama de las conexiones de los elementos del sistema, en él se incluyen las partes neumáticas y las eléctricas. Con él se pretende clarificar el funcionamiento de la plataforma y facilitar la conexión de los elementos que forman el sistema completo.

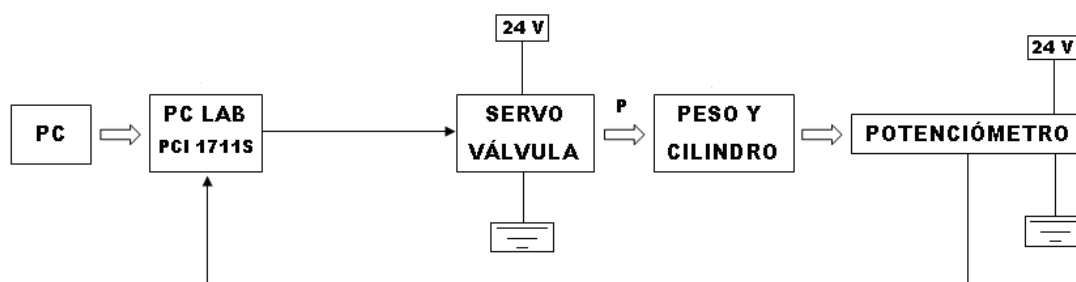


Figura 3. Esquema general de la plataforma

Desde la tarjeta de adquisición de datos se mandan las órdenes a la válvula proporcional, ésta deja pasar presión por las vías 2 ó 4, de una forma proporcional según la señal que reciba. La presión comunicada a las vías por parte de la válvula proporcional provoca un movimiento del conjunto peso-cilindro. En cada movimiento se desplaza el potenciómetro y provoca una tensión a su salida que será leída por una tarjeta de adquisición de datos PCI 1711S.

La función de la tarjeta es la de leer y escribir señales, se explicará cómo funciona y su configuración para el desarrollo del trabajo en el punto 2.8.

Los conectores de cada componente tienen un color, por lo que resulta sencillo identificar cada señal a la que estos deben ir conectados. En el apartado correspondiente a cada componente se muestra un cuadro en el que se asocia el color de cada conector con la señal.

2.2 Servoválvula

Definición

La servoválvula o válvula proporcional de 5/3 vías, mostrada en la Figura 4, convierte su entrada, que es una señal analógica en aperturas de sección de paso adecuadas para cada vía. A la mitad de su tensión nominal (5V), la válvula toma una posición media neumática en la que el aire no atraviesa la válvula. A 0V y a 10V

respectivamente, la válvula asume una de sus posiciones extremas, con la máxima sección de paso abierta o cerrada [4].

Una armadura tubular acciona directamente la corredera de la válvula actuando como un transductor electromecánico. Un regulador electrónico integrado para el recorrido de la corredera permite obtener unas buenas características estáticas y dinámicas.

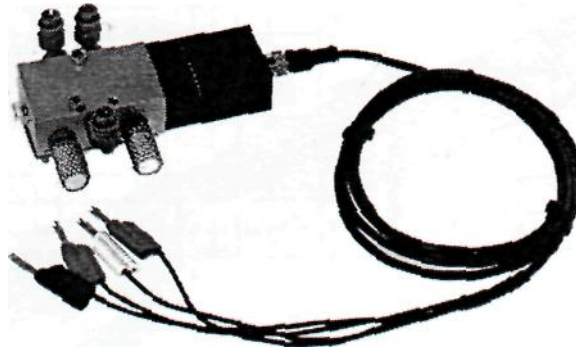


Figura 4. Aspecto de la servoválvula [1]

Conexionado y simbología

La asignación de pines y el código de colores para las clavijas del cable se muestran en la Tabla 1.

Conexiones	Clavija
Alimentación + 24 V	Rojo
Tierra alimentación	Azul
Señal	Negro
Tierra de la señal	Blanco

Tabla 1. Conexionado de la servoválvula

El símbolo utilizado para referirnos a la válvula proporcional será el mostrado en la Figura 5.

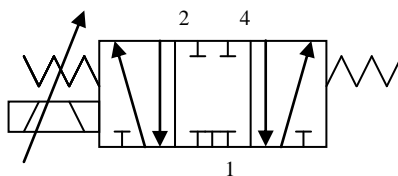


Figura 5. Símbolo de la servoválvula [1]

2.3 Potenciómetro lineal

Definición

El potenciómetro lineal suministra una tensión proporcional a su tensión de alimentación y a la posición del patín. Su material resistivo consiste en una capa de plástico conductor, que tiene la ventaja sobre los potenciómetros bobinados de ofrecer una mayor resolución y una duración también mayor. La Figura 6 muestra el aspecto físico del potenciómetro.

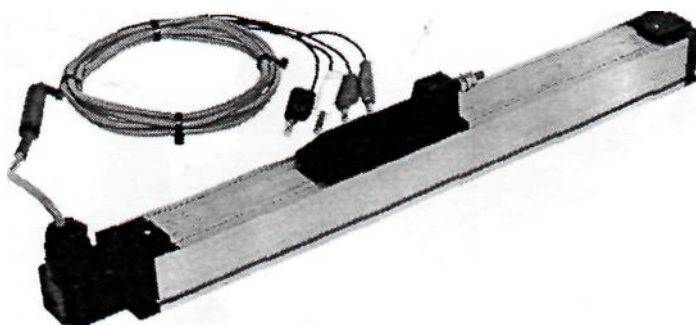


Figura 6. Aspecto del potenciómetro lineal [1]

Conexionado y simbología

La asignación de pines y el código de colores para las clavijas del cable se muestran en la Tabla 2.

Conexiones	Clavija
Alimentación +13V a +30V	Rojo
Tierra alimentación	Azul
Señal de 0V a +10V	Negro
Tierra de la señal	Blanco

Tabla 2. Conexionado del potenciómetro lineal

El símbolo utilizado para referirnos al potenciómetro lineal será el mostrado en la Figura 7.

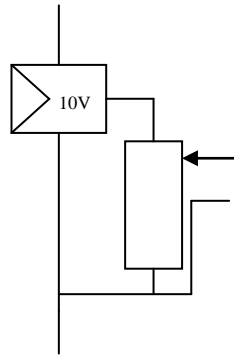


Figura 7. Símbolo del potenciómetro lineal [1]

2.4 Actuador lineal

Definición

Consiste en un cilindro neumático de doble efecto sin vástago de 200 mm de carrera y 25 mm de diámetro de émbolo. Las cámaras del cilindro se alimentan con aire comprimido por medio de dos conexiones. Unos potentes imanes permanentes unen el émbolo interno con la corredera. La velocidad de desplazamiento está limitada para que no pueda sobrepasarse la fuerza del acoplamiento magnético. La **Figura 8** muestra el aspecto del actuador lineal.

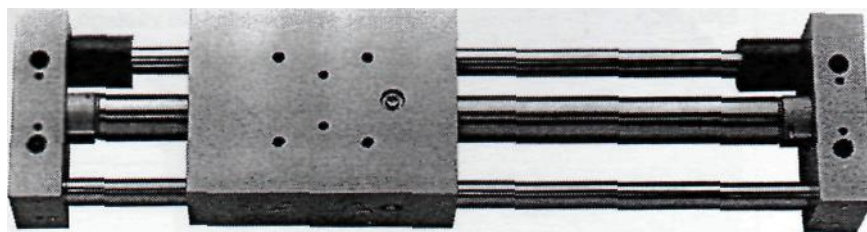


Figura 8. Aspecto del actuador lineal [1]

Dispone de dos guías para aumentar la rigidez. Además, pueden montarse dispositivos adicionales directamente sobre la corredera. Las placas externas tienen agujeros roscados para permitir el montaje de un sistema de medición de la posición. Esto permite montar la escuadra de soporte sobre la corredera como se desee.

En los extremos de las guías se han dispuesto unos topes elásticos para actuar como dispositivos de seguridad. Estos topes amortiguan el impacto de la corredera sobre las placas extremas si el sistema de control falla.

Conexionado y simbología

El actuador dispone de enganches de 2.5 mm en los que se pueden insertar los tubos que comunican la presión a través de la válvula proporcional. El símbolo que corresponde al actuador lineal se puede ver en **Figura 9**.

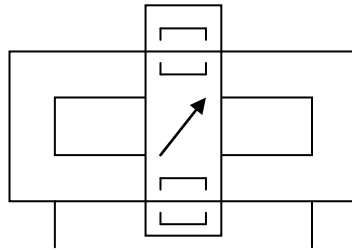


Figura 9. Símbolo del actuador lineal [1]

2.5 Válvula de mantenimiento

Definición

El regulador de presión, mostrado en la Figura 10, ajusta el aire comprimido a la presión de funcionamiento y compensa las fluctuaciones de la presión de la instalación neumática. Una flecha en el cuerpo indica el sentido del caudal. La válvula de cierre o de mantenimiento se acciona manualmente al girar la llave de paso roja, además de cortar el abastecimiento de aire, descarga la presión del sistema.



Figura 10. Aspecto de la válvula de cierre [2]

Entre sus características más importantes destaca que el caudal es de 110 a 11000 l/min. y que la presión de entrada puede estar entre 1 y 16 bares.

Conexionado y simbología

Para conectar esta válvula solo hay que posicionarla entre la instalación y nuestro sistema neumático, para ello utilizamos la entrada y salida de la que dispone.

El símbolo que lo representa se aprecia en la Figura 11.

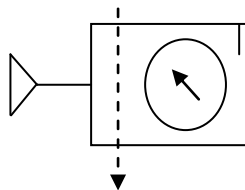


Figura 11. Símbolo de la válvula de cierre [1]

2.6 Regla graduada

Definición

La regla, que representa la Figura 12, se usa para medir la posición de la corredera del actuador lineal:



Figura 12. Aspecto de la regla graduada [1]

Su símbolo es el representado en la Figura 13:



Figura 13. Símbolo de regla graduada [1]

2.7 Peso

Definición

Consiste en un peso metálico de 5 Kg, Figura 14, con dos tornillos de cabeza redonda y cuatro rebajes para facilitar su manipulación. El peso se utiliza como carga en los ejercicios con actuadores lineales. El peso puede asegurarse por alguno de los siguientes métodos:

1. El peso puede montarse en la corredera de los actuadores lineales. Los dos tornillos de cabeza redonda suministrados deben ser insertados en los agujeros avellanados del peso y atornillados a la corredera.
2. El peso puede montarse en la corredera de los actuadores lineales utilizando una placa intermedia. Los dos tornillos de cabeza redonda suministrados deben ser insertados en los agujeros avellanados del peso y atornillados a la corredera.

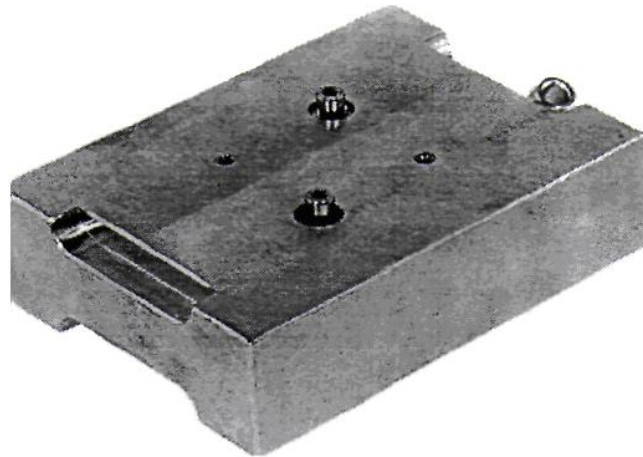


Figura 14. Aspecto del peso [1]

2.8 Tarjeta de adquisición de datos

Definición

La tarjeta de adquisición es una PCI1711S, un dispositivo capaz de leer y escribir señales analógicas y digitales a través de un ordenador. Durante el desarrollo del trabajo se han utilizado únicamente señales analógicas.

Para crear una aplicación que se comunique con el hardware exterior a través de esta tarjeta se procede del mismo modo que con cualquier trabajo de Simulink, únicamente habrá que añadir módulos de entrada/salida usando bloques controladores de entrada/salida.

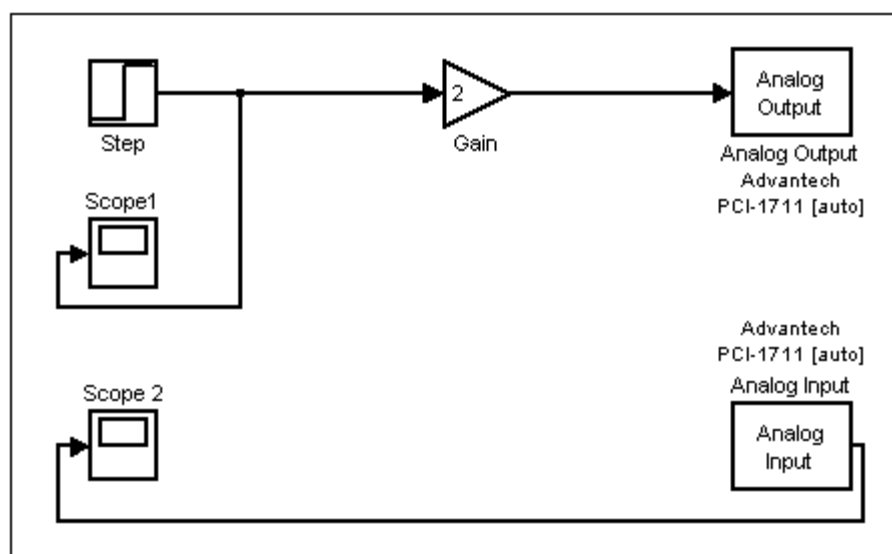


Figura 15. Bloques Input/Output

En la Figura 15 podemos observar estos bloques. El esquema escribe en un canal de salida una señal cuadrada multiplicada por 2 por medio de un bloque Analog Output y se lee por un canal de entrada a través de un bloque Analog Input. Estos bloques se encuentran en la librería Real-Time Windows Target, como se apreciaba en la Figura 16.

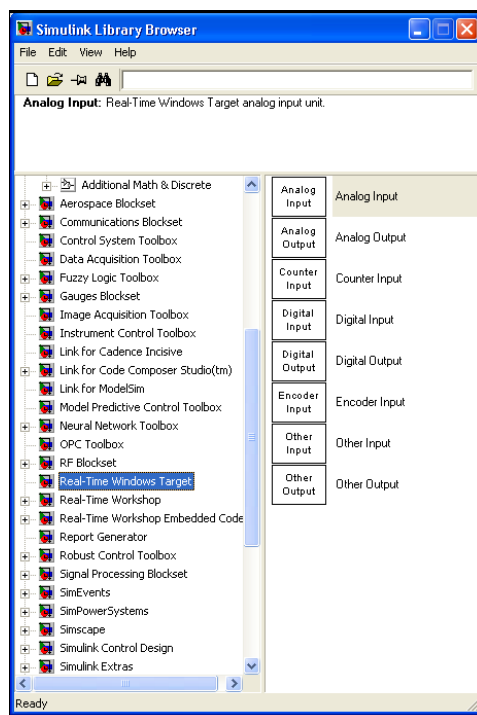


Figura 16. Ventana librería de bloques Input/Output

Configuración

Bloque Input

Para configurar el bloque de entrada debemos hacer doble click sobre el bloque Analog Input, entonces aparecerá un cuadro, como el de la Figura 17, donde deberemos indicar el modelo de nuestra tarjeta (Advantech PCI-1711), el tiempo de muestreo que debe coincidir con el periodo de muestreo con que se configura la simulación del esquema Simulink (en nuestro caso 0.01s), el rango de entrada (entre -10V y 10V) y el tipo de salida del bloque.

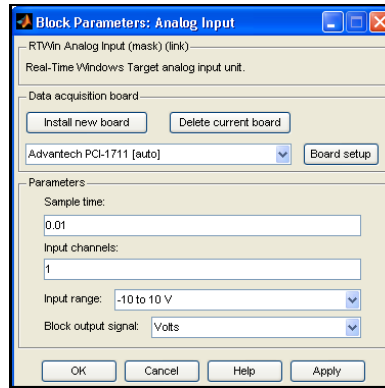


Figura 17. Ventana de configuración de bloque Analog Input

Bloque Output

Para configurar el bloque de salida debemos hacer lo mismo que en el bloque de entrada, seleccionando el valor de los parámetros de igual forma, como se aprecia en la Figura 18.

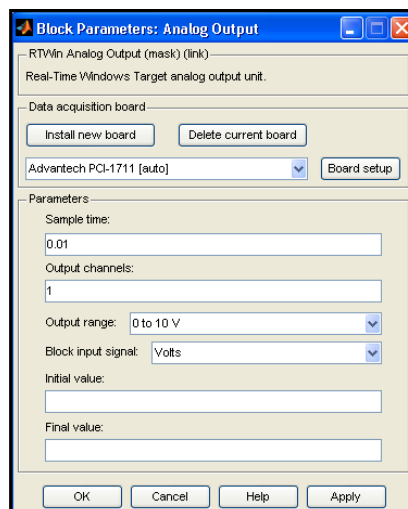


Figura 18. Ventana de configuración de bloque Analog Output

Conexionado y simbología

La tarjeta de adquisición de datos dispone de un bornero que facilita la conexión con la plataforma, en cuyas etiquetas podemos observar el nombre que se les da a sus entradas y salidas. El aspecto de la tarjeta de muestra en la Figura 19.

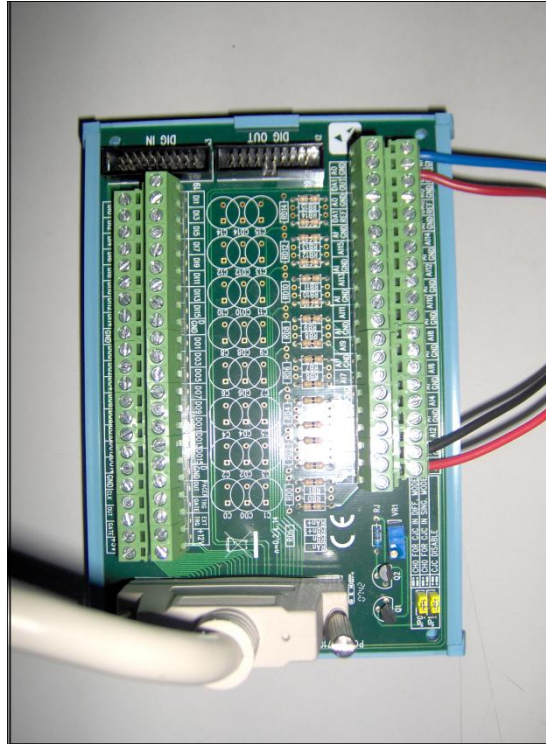


Figura 19. Bornero de la PCI-1711S [3][10]

La Tabla 3 muestra las conexiones entre el bornero de la tarjeta y los distintos elementos que forman la plataforma neumática.

Entrada/Salida	PCI 1711S	Conexión Plataforma
Entrada	AI0	Negro Potenciómetro lineal
	AI GND	Blanco Potenciómetro lineal
Salida	DAO OUT	Negro Válvula proporcional
	AO GND	Blanco Válvula proporcional

Tabla 3. Conexionado de la PCI-1711S

La simbología que representará la tarjeta serán los bloques de entrada y salida de Simulink, explicados anteriormente.

Capítulo 3

Controladores PID digitales y Real-Time Windows Target

3.1 Conceptos generales

Antes de comenzar a detallar los tipos de control a los que se ha sometido a la plataforma, es conveniente hacer un pequeño resumen explicando en que consiste un controlador PID digital y el entorno Real Time Workshop [5].

Controlador PID digital

En la Figura 20 podemos observar cómo sería la topología típica de un sistema de control digital con microprocesador.

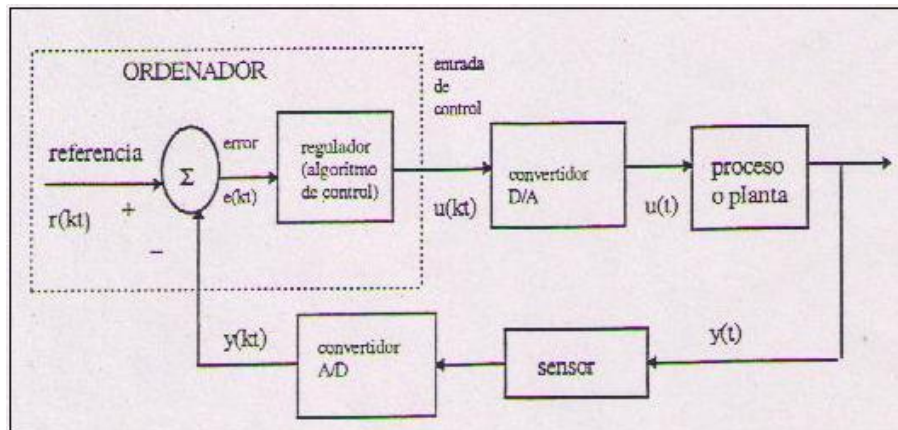


Figura 20. Sistema de control digital con microprocesador

El bloque llamado regulador es la representación del algoritmo de control que se aplicará a través de Matlab, hace que el sistema físico responda de una determinada manera frente a la/s entrada/s al mismo. La respuesta del sistema controlado es notoriamente superior en cuanto a regulación y seguimiento que la que presentaría el sistema físico por sí solo.

Este bloque puede ser implementado utilizando varias técnicas y componentes, por ejemplo mediante sistemas mecánicos, hidráulicos, etc., o en la forma más utilizada mediante circuitos electrónicos, analógicos, digitales o mediante el uso de un microprocesador. Esta última forma de implementación tiene una respuesta relativamente lenta comparada con la analógica, sin embargo la continua aparición de microprocesadores más rápidos hace que esta limitación prácticamente desaparezca permitiéndonos además una gran versatilidad en cuanto al diseño y cambio de parámetros en el regulador. Por esta razón en el proyecto se utiliza esta implementación con un algoritmo de control que se aplica a través de Matlab.

En la Figura 20 hay que explicar que $u(t)$ es la salida de control, $e(t)$ es el error del sistema y $y(t)$ es la salida del sistema a controlar. Y donde aparece proceso o planta es donde estaría nuestra plataforma neumática.

En los sistemas de control digitales es necesaria la utilización de convertidores analógico/digitales A/D y digitales /analógicos D/A, ya que por una parte el ordenador trabaja con señales digitales y la planta o proceso a controlar normalmente lo hace con señales analógicas. Ambos convertidores muestrean la señal cada T_s . Este parámetro denominado tiempo de muestreo, es uno de los más importantes a considerar en el diseño de sistemas de control digitales.

Real-Time Windows Target

Al estar utilizando la plataforma neumática real, tendremos que utilizar Matlab en tiempo real. Por esta razón tendremos que elegir un compilador adecuado para esto. En Simulink en “Tools→Real-Time Workshop→Options” nos aparecerá la ventana de configuración donde establecemos todos los parámetros necesarios para la simulación. En

el apartado “Real-Time Windows Target” deberemos elegir un compilador adecuado para una simulación en tiempo real. Si hacemos click en “browse” nos aparecerá otra ventana con todos los compiladores de los que dispone Matlab, como podemos apreciar en la Figura 21. Elegiremos el “rtwin.tlc”. Finalmente, para guardar damos a “OK” y “Apply”.

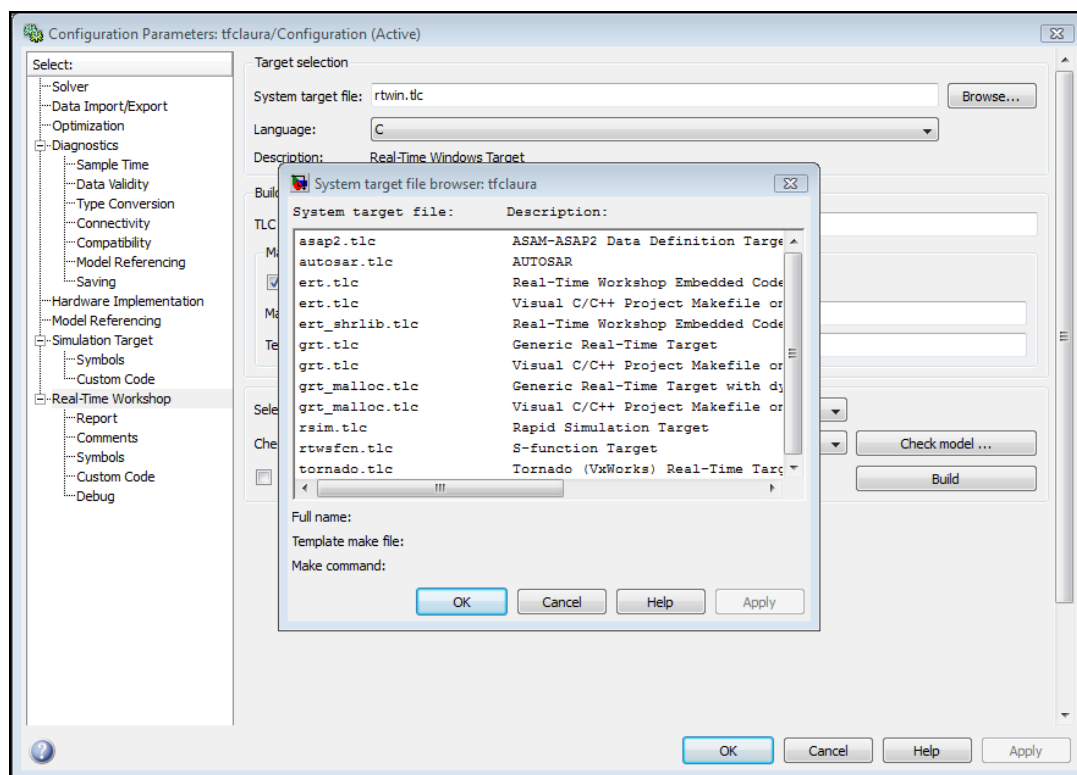


Figura 21. Ventana de elección de compilador

Una vez diseñado el circuito en Simulink y elegido el compilador adecuado, hay que compilar el circuito en “Tools→Real-Time Workshop→Built Model”.

Entonces se empezará a compilar el modelo creado a tiempo real y en el comando Windows tendremos que escribir “continue”, ya que Matlab se queda esperando a que elijamos alguna opción para depurar la compilación (en el caso del circuito de control fraccionario, esto no ocurrirá). El aspecto será:

“TLC-DEBUG>continue”

Si la compilación resulta satisfactoria, será entonces cuando podremos ejecutar el modelo. Para ello, elegir en “Simulation→External” (para poder conexionar con la plataforma) y en “Simulation→Conect To Target”. Para ver la simulación únicamente hay que dar a “play”.

Capítulo 4

Control Fraccionario

4.1 Conceptos teóricos

Se desarrollará un controlador fraccionario $PI^\lambda D^\mu$ que consiste en un PID cuyas respectivas partes integral o derivativa son de órdenes no enteros. La expresión que representa a un controlador de orden fraccional se refleja en (1). Los valores de λ y μ son números no enteros.

$$C(s) = k_c x^\mu \left(\frac{\lambda_1 s + 1}{s} \right)^\lambda \left(\frac{\lambda_2 s + 1}{x \lambda_2 + 1} \right)^\mu \quad (1)$$

Como se puede observar en la expresión (1), el controlador posee dos partes bien diferenciadas mostradas en las expresiones (2) y (3). La ecuación (2) corresponde a la parte integral mientras que la expresión (3) pertenece a la parte derivativa más un filtro.

$$PI^\lambda = \left(\frac{\lambda_1 s + 1}{s} \right)^\lambda \quad (2)$$

$$PD^\mu = k_c x^\mu \left(\frac{\lambda_2 s + 1}{x \lambda_2 + 1} \right) \quad (3)$$

La principal característica de este tipo de controladores es su gran robustez. Esta robustez se consigue haciendo que, en torno a una frecuencia de corte dada, se produzca un llano en la representación en frecuencia de la fase del sistema. De esta forma, se conseguirá que a variaciones de ganancia, que provocan un desplazamiento de la representación de ganancia en frecuencia, el sistema presente una respuesta de sobreoscilación constante.

Para conseguir el llano de la fase en la representación en frecuencia, la parte integral (2) es la encargada de cancelar la pendiente de la fase de la planta a través de otra pendiente de la misma magnitud y signo contrario. Esto garantiza la robustez del sistema ante cambio en la ganancia. Una vez cancelada la pendiente, la parte derivativa mostrada en (3) será la encargada de ajustar el controlador para los requisitos buscados por el usuario.

La función de transferencia sobre la que se aplicará el control fraccionario será la correspondiente al modelo del sistema electroneumático con el que se va a trabajar, que fue obtenida mediante identificación en un proyecto de fin de carrera anterior [7].

$$G(s) = \frac{1.0908}{1 + 0.2074s} \quad (4)$$

Discretizando obtenemos:

$$G(z) = \frac{0.05135}{z - 0.9529} \quad (5)$$

5.2 Cálculo de parámetros

Para el cálculo del controlador se utiliza una aplicación que facilita el proceso de cálculo [6].

El método en el que se basa el diseño del controlador acepta cualquier tipo de función de transferencia, pero esta aplicación sólo acepta funciones de transferencia de primer orden y de primer orden con integrador, como se muestra en la parte “*Plant*” de la Figura 22.

Figura 22. Herramienta para calcular el controlador fraccional

En la Figura 22 se muestra la interfaz resultante de lanzar la aplicación. En la parte ‘Specifications’ se configura la frecuencia a la que se desea que se produzca el llano en la representación de la fase además del margen de fase deseado. En la parte ‘Plant’, se selecciona una de las dos plantas posibles para posteriormente introducir los valores que corresponden a la función de transferencia de nuestro modelo (4).

El valor de k' de la parte ‘Controller Implementation’ también es un parámetro de configuración mientras que los valores de λ , λ_1 , λ_2 , μ y x son los valores que devuelve la aplicación tras calcular el controlador. El bloque ‘Aproximation’ se encarga de aproximar la función de transferencia del controlador con los valores de λ , λ_1 , λ_2 , μ y x a vectores de coeficientes que representan a los polinomios del numerador y denominador resultantes. Así se podrán realizar simulaciones y verificar el funcionamiento experimentalmente.

El valor de ‘Ts’ es el tiempo de muestreo para pasar de dominio continuo a discreto. Una vez realizadas las configuraciones oportunas se pulsa en ‘Run’ y automáticamente se calculan los valores del numerador y denominador en ambos dominios, de forma que se guardan en el espacio de trabajo de Matlab los valores del algoritmo de control que necesitará el diagrama de Simulink para su simulación posteriormente. En la parte inferior de la derecha se pueden ver diferentes representaciones en frecuencia.

Tras muchas pruebas, se consiguieron deducir los mejores valores de los parámetros del controlador para el funcionamiento más preciso del cilindro neumático y que mejor se ajustaban al régimen permanente y dinámica deseada. Las primeras pruebas mostraban que la plataforma oscilaba en torno al lugar donde se deseaba posicionarlo. Tras varias pruebas se consigui que la masa no oscilara en el punto de posicionamiento. Los valores

CAPÍTULO 4: Control Fraccionario

que finalmente se han considerado han conseguido utilizando como parámetros del controlador los valores que se aprecian en la Figura 23.

The screenshot shows a control application interface with the following sections:

- SPECIFICATIONS:**
 - $\omega_{cg} (rad/s)$: 2
 - $\phi_m (deg)$: 70
 - $Range (decades)$: 2
- CONTROLLER IMPLEMENTATION:**
 - Controller equation: $c(s) = k' \left(\frac{\lambda_1 s + 1}{s} \right)^{\lambda} \cdot \left(\frac{\lambda_2 s + 1}{x \lambda_2 s + 1} \right)^{\mu}$
 - Parameters table:

Parameter	Value
k'	1
λ	0.70781
λ_1	0.5
λ_2	0.25916
μ	-1.999
x	-0.014324
- Approximation:**
 - Lag:** numerator order = 3, denominator order = 3
 - Lead:** numerator order = 3, denominator order = 3
 - T_s : 0.01
 - Buttons: Continuous implementation, Discrete implementation
- PLANT:**
 - Select the plant: ☒ $G(s) = \frac{k}{(\tau s + 1)} e^{-Ls}$, ☐ $G(s) = \frac{k}{s(\tau s + 1)} e^{-Ls}$
 - k : 1.0908
 - τ : 0.2074
 - L : 0
- Run:** A red button to execute the simulation.
- Plot List:** A list box containing Plot 1, Plot 2, Plot 3, Plot 4, Plot 5, Plot 6, and Plot 7.
- Output Area:** A large yellow box with the text "SELECT AN OPTION IN THE LIST BOX".

Figura 23. Valores introducidos a la aplicación

De manera que la ecuación del controlador resultante es la mostrada en (6).

$$C(s) = \left(\frac{0,5s + 1}{s} \right)^{0.70781} \left(\frac{0,25916s + 1}{3,71 \cdot 10^{-3} + 1} \right)^{-1,999} \quad (6)$$

Esquema desarrollado

La Figura 24 muestra el esquema seguido para comprobar el funcionamiento del controlador fraccionario.

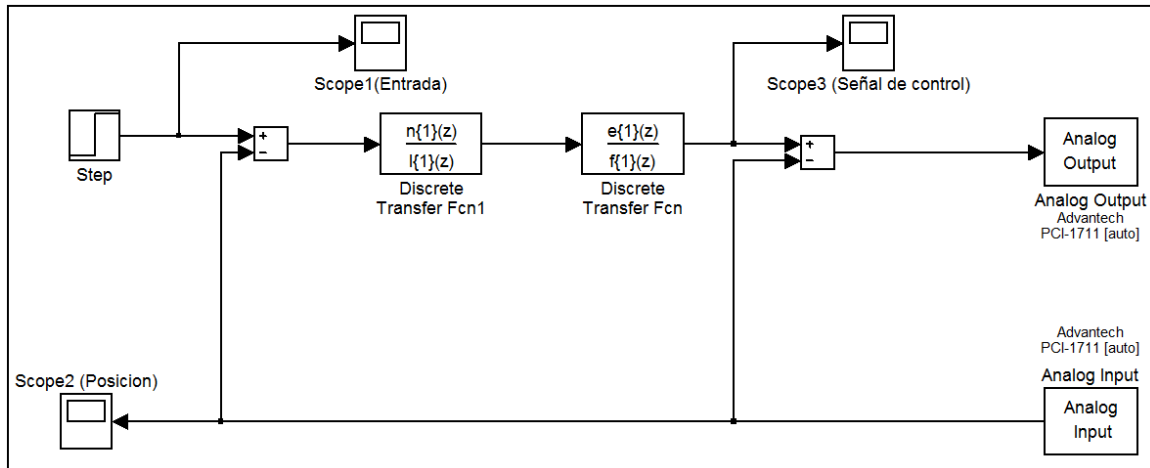


Figura 24. Esquema para el controlador fraccionario

La aplicación anteriormente explicada calcula los valores de los coeficientes y los designa con los nombres n , l , e y f a través de dos funciones de transferencia que diferencian claramente la parte derivativa (n y l) e integral (e y f).

Simplemente incluyendo dos funciones de transferencia y nombrando numerador y denominador correctamente se representa fácilmente el controlador, ya que los valores numéricos que representan a los identificadores n , l , e , f están guardados en el espacio de trabajo de Matlab.

Para el caso concreto de los valores introducidos en la aplicación que muestra la Figura 23, los valores conseguidos son los siguientes:

$$\begin{aligned} n\{1\} &= 0.0000 \quad 0.0005 \quad 0.0015 \quad -0.0009 \\ l\{1\} &= 1.0000 \quad -2.4372 \quad 1.9127 \quad -0.4748 \\ e\{1\} &= 0.6166 \quad -1.8330 \quad 1.8164 \quad -0.6000 \\ f\{1\} &= 1.0000 \quad -2.9869 \quad 2.9738 \quad -0.9869 \end{aligned}$$

De manera que en el controlador del circuito Simulink se podrían introducir estos valores resultando un circuito no dependiente del espacio de trabajo y Matlab, ni del lanzamiento de la aplicación.

4.3 Resultados en simulación

Como paso previo para la validación del controlador y su posterior comparación con otros esquemas de control, se procedió a realizar pruebas en simulación.

Para simular el controlador fraccionario es necesario representar la plataforma en el esquema Simulink discretizando la función que la representa (4). Esto se consigue aplicando dos comandos en el espacio de trabajo de Matlab:

```
sys=tf([1.0908],[0.2074 1])
sysd=c2d(sys,0.01,'zoh')
```

De esta forma el controlador queda representado por dos bloques como se ve en el circuito en Simulink de la Figura 25 y la plataforma queda representada por el bloque “Modelo planta”.

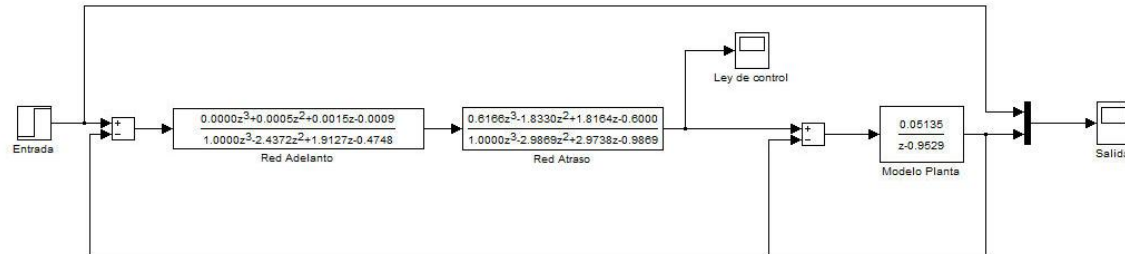


Figura 25. Esquema Simulink para simulación de control fraccionario

Comportamiento sin controlador

En primer lugar y para comprobar el efecto del controlador sobre el sistema, se procede a observar el comportamiento del sistema en cadena abierta, para ver la dinámica y ganancia del sistema sin control. Esto consiste en simular el circuito de la Figura 26.

El lazo cerrado que se apreciaba se puso para la planta porque en el modelo de la planta utilizado se tuvo que identificar así para conseguir que fuese estable [7].

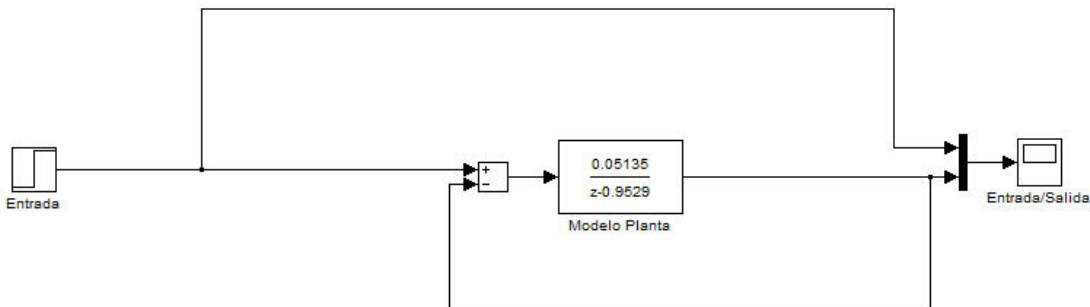


Figura 26. Esquema Simulink sin controlador

La Figura 27 muestra la representación de los resultados de salida frente a una entrada escalón obtenidos en el anterior modelo.

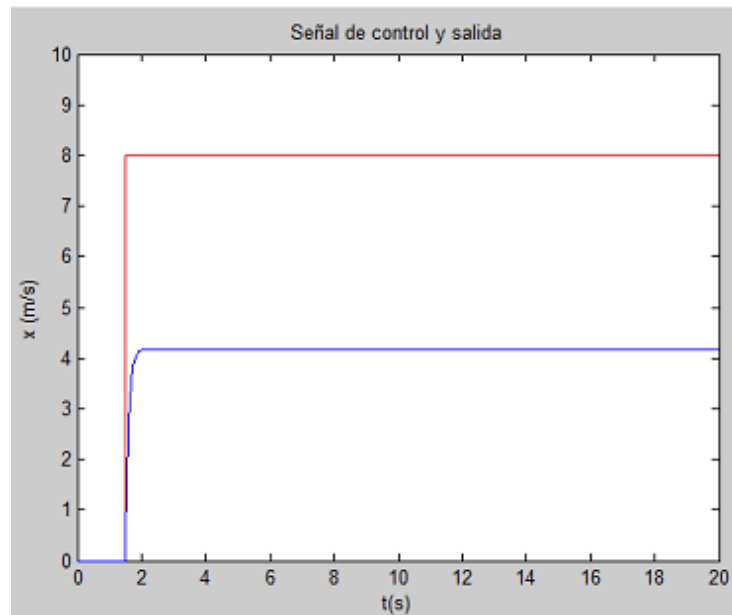


Figura 27. Entrada y salida del modelo sin controlador

Como podemos comprobar, sin el controlador la señal de salida no llega a alcanzar el valor de entrada, se queda en la mitad de la señal de referencia. Lo que significa que la corredera del cilindro ni si quiera llegará al punto de posicionamiento.

Comportamiento con controlador

A continuación se estudia el comportamiento del sistema con el controlador fraccionario mostrado en la Figura 25. En la Figura 28 se observa la salida ante la entrada escalón empleada anteriormente.

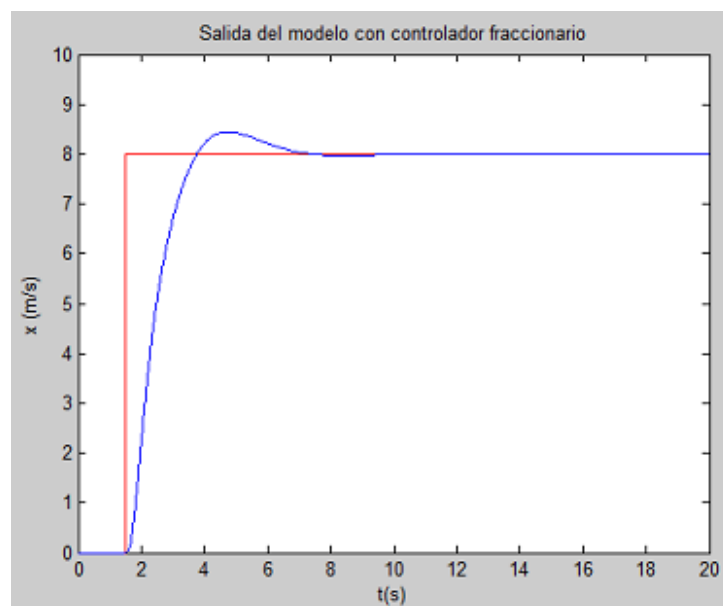


Figura 28. Entrada y salida del modelo controlado

Se puede apreciar que el sistema simulado es algo más lento que el sistema sin controlar, pero más rápido que el comportamiento real, ya que en la simulación no se incluyen los efectos de la fricción ni de otras no linealidades de la plataforma, que como se podrá observar en siguientes apartados, hacen al sistema más lento.

También podemos ver un pequeño valor de pico, aunque inferior al 10%, que en poco tiempo consigue estabilizarse y llegar al valor introducido en la entrada.

En cuanto a la señal de control podemos observarla en la Figura 29 y podemos comentar que tiene un valor de pico que estabiliza en poco tiempo y que luego se mantiene.

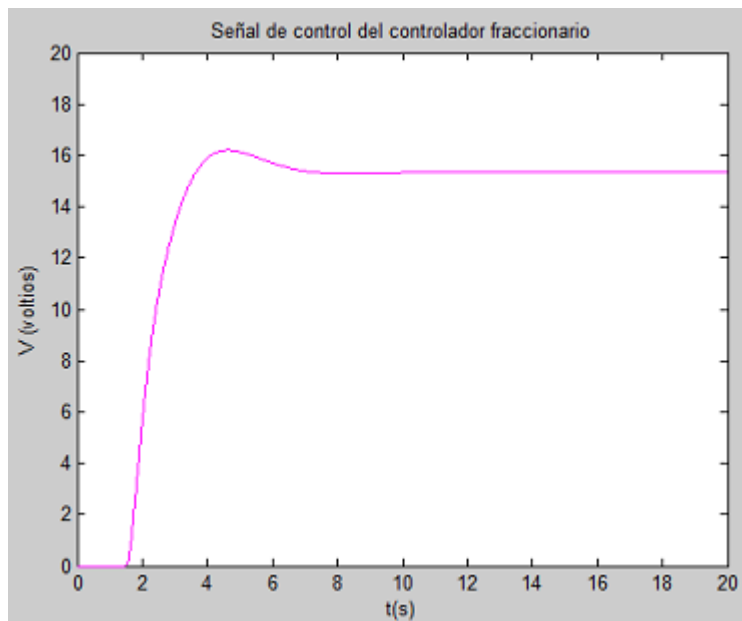


Figura 29. Ley de control

Podemos apreciar en la Figura 30 que la dinámica de la señal de salida sigue a la dinámica de la señal de control, como cabe esperar en un sistema realimentado.

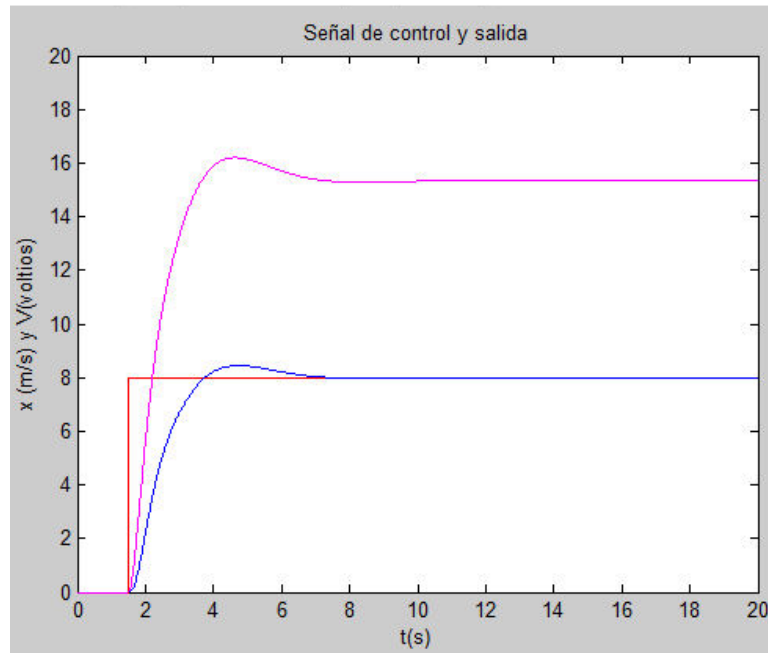


Figura 30. Salida y señal de control del modelo controlado

Comportamiento con perturbación

Uno de los objetivos de este proyecto es la comparación del regulador con un controlador adaptativo y una de las comparaciones que desea realizarse es el comportamiento de ambos reguladores ante perturbación, en el que ambos tipos de controladores se muestran como apropiados.

La perturbación empleada consiste en la adición al cilindro de una masa de 5Kg que altere la dinámica del sistema. Sin modificar el controlador previamente calculado. El modelo del sistema con masa es:

$$G(z) = \frac{0.0381}{z - 0.9596}$$

En la Figura 31 se muestra la salida del sistema para la masa nominal y la salida que se obtiene al colocar la masa adicional de 5Kg. Se puede observar que la sobreoscilación del sistema permanece constante y que por tanto, el sistema es robusto ante cambios en la masa.

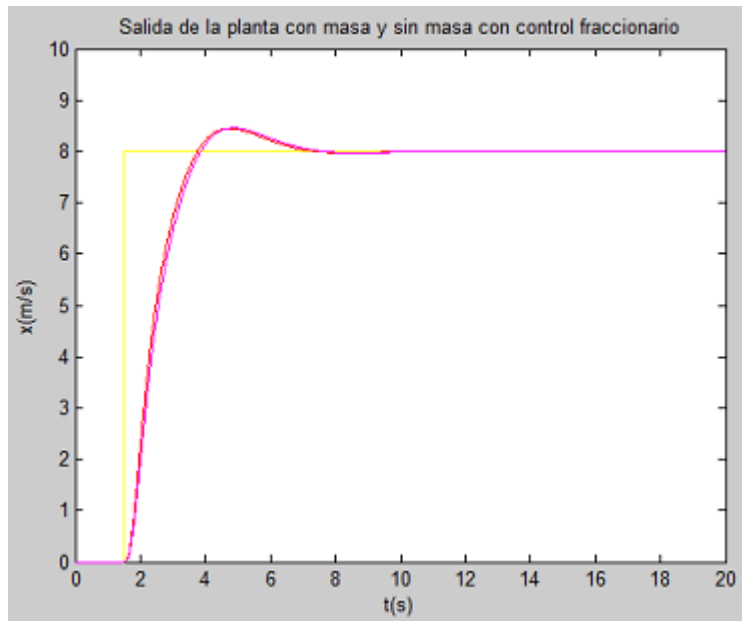


Figura 31. Respuestas temporales del sistema para distintas masas con el controlador fraccionario

En la Figura 32 podemos ver como el controlador proporciona una señal parecida en dinámica pero que consume más energía para seguir a la referencia.

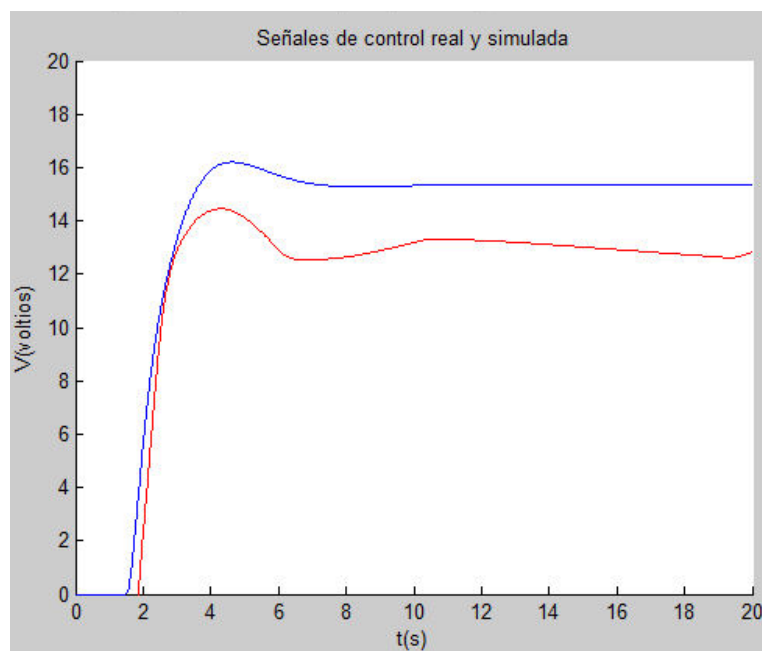


Figura 32. Señales de control del sistema para distintas masas con el controlador fraccionario

4.4 Resultados en la planta real

El esquema Simulink implementado para el funcionamiento real de la plataforma neumática es el representado en la Figura 33.

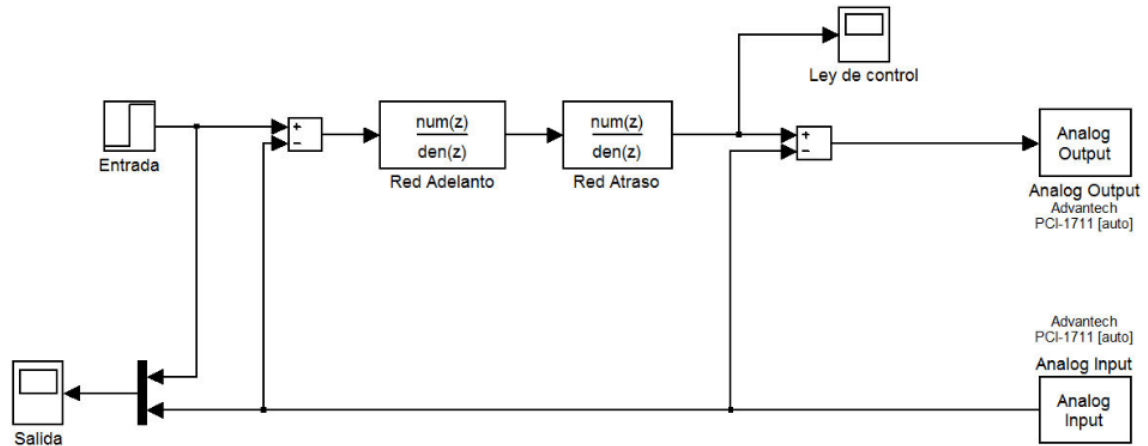


Figura 33. Esquema Simulink para funcionamiento real de la planta

Antes de comenzar a exponer los resultados conseguidos en la plataforma hay que explicar la configuración necesaria para el correcto funcionamiento de ésta.

La configuración se basa en definir fundamentalmente dos de los apartados posibles de configuración.

En el apartado del “solver” los tiempos de simulación, el de inicio y el tiempo en el que pararemos el proceso. Y se definirá también el tipo de solver, que es discreto de tipo “Fixed step”.

Y en el apartado de “Real-Time Workshop” básicamente lo que se determina es el tipo de compilador que se utilizará, este será el “rtwin.tlc”.

Todo esto puede verse en las Figuras 34 y 35.

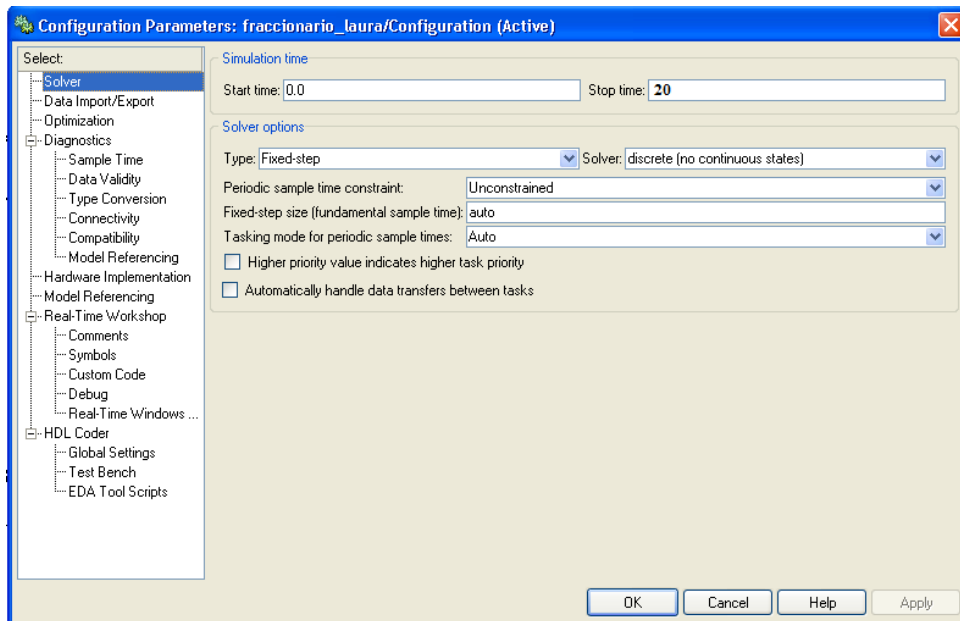


Figura 34. Configuración del “solver”

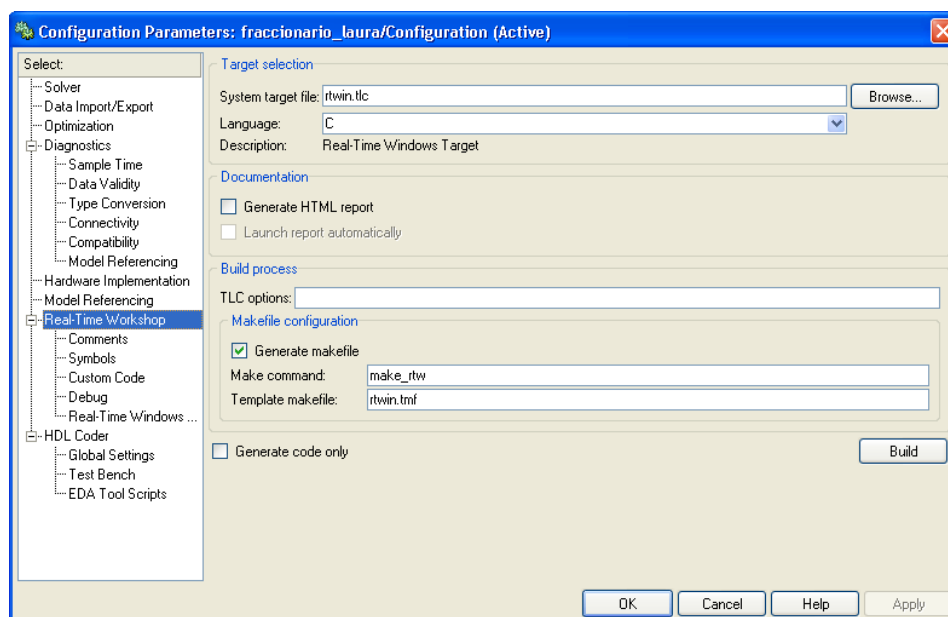


Figura 35. Configuración de “Real-Time Workshop”

Comportamiento sin y con perturbaciones

El esquema Simulink necesario para el funcionamiento de la plataforma neumática es el mismo para el caso de tener o no la perturbación puesta, anteriormente mostrado en la Figura 33.

En la Figura 36 podemos ver cómo las salidas, es decir, las posiciones del cilindro neumático, sin la perturbación y con ella, son prácticamente las mismas, por lo que demostramos que nuestro sistema de control fraccionario es robusto.

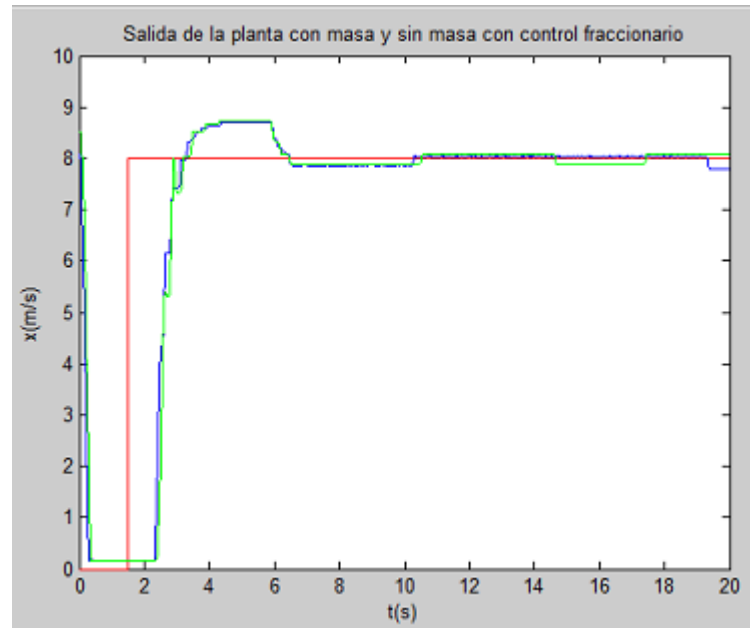


Figura 36. Salida sin y con perturbación en la plataforma real

En cuanto a la señal de control la diferencia entre tener o no la perturbación no se aprecia prácticamente, como se puede ver en la Figura 37.

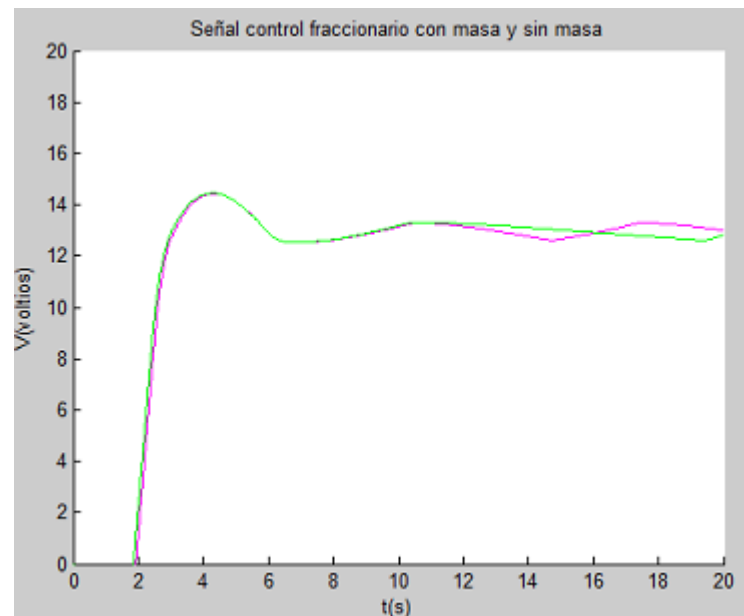


Figura 37. Señal de control sin y con la perturbación

Se puede apreciar en las gráficas que la perturbación no causa cambios apreciables en el comportamiento del sistema, es decir, el control fraccionario hace que

nuestro sistema sea robusto. Vemos que los movimientos son algo más bruscos cuando se añade la masa adicional, esto es debido a la inercia que provoca una masa mayor en movimiento.

En este tipo de sistemas en los que las no linealidades (temperatura, presión máxima, fricción entre los cilindros y la masa, ruido en el cableado, tiempo de funcionamiento, etc.) son una parte importante de la plataforma, los controladores fraccionarios permiten que su control sea sencillo y eficaz debido a la robustez que se le otorga al sistema completo (plataforma y controlador).

4.5 Conclusiones

Al comparar las simulaciones con la experimentación en la planta real se pudo validar el sistema simulado.

En la Figura 38 vemos que como era de esperar, los resultados que nos devuelve la plataforma son mucho menos lineales que los simulados, pero siguen la forma de salida simulada por lo que el funcionamiento es el esperado.

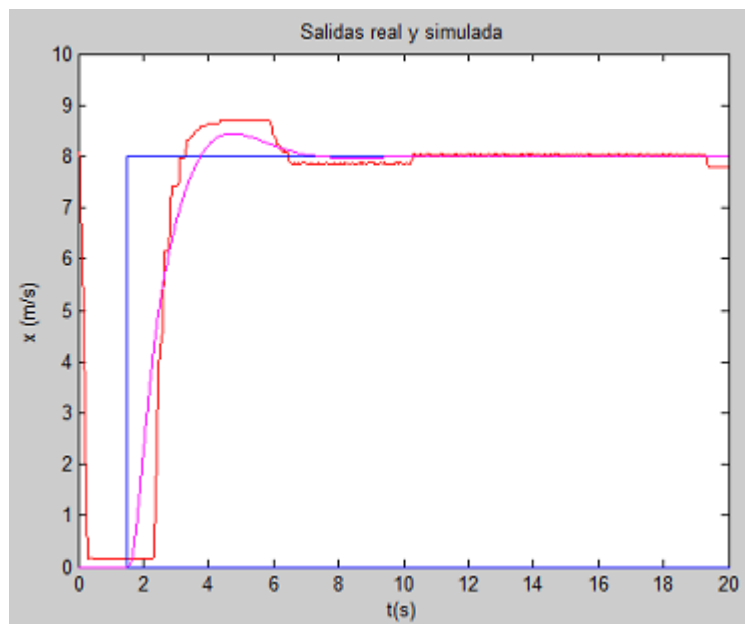


Figura 38. Salida real y simulada

En la Figura 39 tenemos las señales de control del sistema real y el simulado. Vemos que es mayor el valor de la señal simulada de lo que en realidad se necesita para controlar la plataforma.

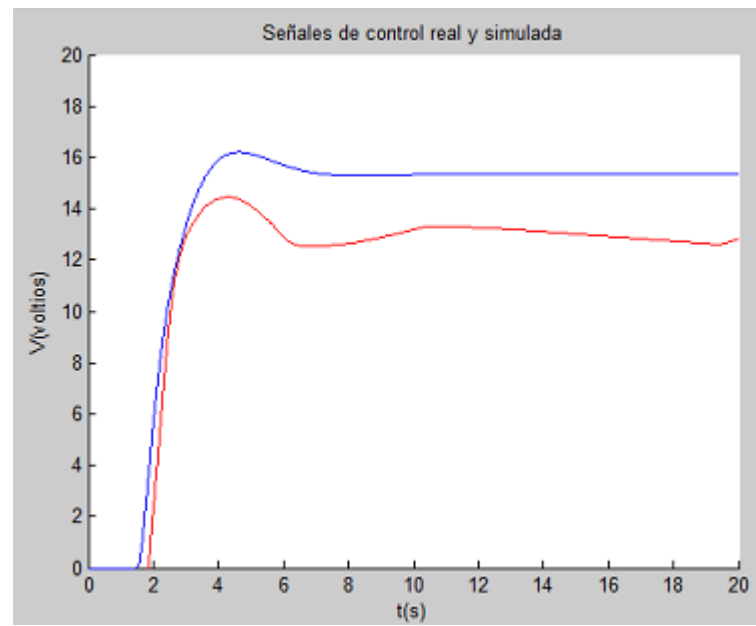


Figura 39. Señal de control real y simulada

Capítulo 5

Control Adaptativo

5.1 Conceptos teóricos

El Control adaptativo es un tipo de regulación donde los parámetros proporcional, integral y derivativo del controlador no se mantienen constantes durante la acción de control, si no que van modificando su valor a medida que ésta se va produciendo y hasta que finaliza. De alguna forma se van “adaptando” a las condiciones cambiantes del sistema mientras éste va evolucionando.

El resultado de esta adaptación y de la naturaleza cambiante de los parámetros de regulación es la obtención de un control más preciso de los sistemas.

Existen varias formas de realizar los algoritmos de control adaptativo, bien con técnicas analógicas o con técnicas digitales, en este último caso con la ayuda de una computadora. La utilización de tecnología digital permite implementar complicados algoritmos de control adaptativo que no serían realizables mediante técnicas analógicas, pues en este caso la solución implicaría grandes inversiones.

Además existen una serie de ventajas al desarrollar los modelos de control en tiempo discreto frente al modelo continuo, especialmente en el desarrollo teórico y esfuerzo computacional. Evidentemente el algoritmo de control adaptativo estará soportado en un PC y, por lo tanto, el modelo del sistema y las ecuaciones de control estarán desarrollados en tiempo discreto. De esta forma, al realizar el control con ayuda de un PC, éste resultará más completo y preciso.

CAPÍTULO 5: Control Adaptativo

Debemos señalar también que los avances en el campo de identificación de sistemas utilizando técnicas digitales y en el desarrollo de controladores suponen una importante ayuda al control adaptativo. Consecuencia de todo esto es el crecimiento en la utilización del control adaptativo en procesos reales.

Desde aproximadamente el año 1970 aparecen las primeras publicaciones sobre control adaptativo utilizando técnicas digitales.

Existen varias estructuras de control adaptativo, pero como su naturaleza es en todas ellas la misma, explicaremos con profundidad sólo una de ellas, que será la que emplearemos en el control de la posición del actuador lineal. Para todas las estructuras de control adaptativo el control ajusta su comportamiento al cambio en las propiedades del sistema y en las señales controladas.

Cuando el comportamiento del sistema se modifica, este cambio es “observado” por una señal accesible por el control, la información que proporciona esta señal al algoritmo de control es la que ajusta los parámetros de la regulación.

La señal que proporciona esta valiosa información es también la señal controlada que nos permite cerrar el bucle de control.

El control adaptativo no es más que la combinación de mecanismos de estimación y diseño de reguladores. Estos algoritmos de control digitales dependen de los parámetros del sistema que se está controlando. Es esta la característica que hace posible la adaptación del regulador al cambio de los parámetros del sistema. El regulador se expresa mediante una función de transferencia.

Para este estudio se eligió concretamente el controlador tipo MRAS porque es el tipo de técnica de control que ya se ha usado experimentalmente sobre la plataforma [8], aunque no a través de Matlab.

La técnica de control adaptativo que emplearemos se denomina de forma abreviada **MRAS**. Sus siglas significan *Model Reference Adaptive Systems*, es decir, *Sistema Adaptativo por Modelo de Referencia*. Una traducción más propia del inglés al español sería Control Adaptativo por Modelo de Referencia (**CAMR** o **MRAC**).

El control **MRAS** intenta obtener una respuesta del sistema en lazo cerrado que se aproxime todo lo posible a la de un modelo ideal que sirve como referencia de comportamiento para el sistema real.

Este control utiliza la señal diferencia entre la respuesta del modelo ideal y la respuesta del modelo real como señal que modifica los parámetros de control. Esta señal de error es la que entra en las ecuaciones del algoritmo de control adaptativo y es la que define la naturaleza cambiante de los parámetros del controlador.

En la Figura 40 se puede ver de una forma más clara cómo funciona un modelo de control MRAS.

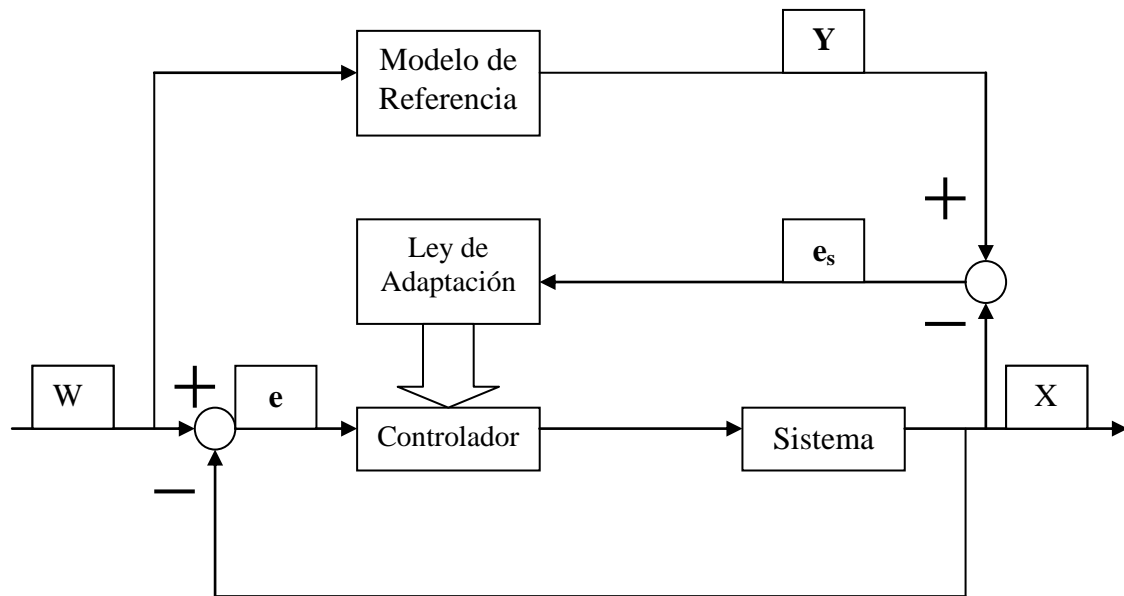


Figura 40. Modelo de control MRAS

Las señales que forman parte de este sistema de control son las siguientes:

W - Señal de referencia: Como señal de entrada es la señal que excita al sistema y que pretendemos que éste siga.

X - Señal de salida del sistema: También se le denomina variable regulada. Por medio de esta señal conoceremos cuál es el comportamiento del sistema y también podremos cerrar el bucle de control. Gracias a esta señal seremos capaces de realimentar el sistema y hablar de control en bucle cerrado.

e - Error del sistema: Esta señal resulta de la diferencia entre W y X. En el esquema se puede ver claramente que $e = W - X$. En los sistemas de control adaptativo a este error se le denomina error de estado. Este error es la variable de entrada al controlador y sobre él actúan los parámetros proporcional, derivativo e integral del controlador. La acción del controlador consiste en reducir el error de modo que la salida (X) siga a la entrada (W) de la forma más precisa posible.

La acción de control que se realiza sobre el error del sistema es la habitual en todos los sistemas controlados.

YM - Señal de salida del modelo ideal: Esta es la señal de salida de un modelo ideal que es escogido como referencia de comportamiento para el sistema real. Puesto que el sistema es ideal, la señal de salida del mismo se obtiene directamente excitándolo con la señal de referencia (W). Se dice entonces que el sistema ideal está funcionando en cadena abierta.

Señalaremos que para que el modelo real funcione correctamente es necesario realimentarlo, es decir hacerlo funcionar en cadena cerrada.

es - Error de salida: Esta señal resulta de la diferencia $Y_M - X$. Atendiendo al cambio de nomenclatura, el error de salida se puede escribir como: $e_s = Y_M - Y$, con lo cual en adelante conseguiremos mayor uniformidad en las explicaciones. No obstante añadiremos un cambio más en la nomenclatura a seguir y diremos que el error de salida es: $\Delta Y = Y_M - Y$.

Podemos observar en el esquema como ésta es la señal que entra al bloque denominado Ley de Adaptación. Dentro de este bloque se encuentran los algoritmos o ecuaciones matemáticas que definen el valor cambiante de los parámetros de regulación del controlador. Por lo tanto, gracias a esta señal de error podemos hablar de control adaptativo por modelo de referencia.

En el esquema podemos ver como la Ley de Adaptación le está “pasando” al controlador el valor de los parámetros de regulación. Esto lo hace por medio de los algoritmos matemáticos señalados.

La principal dificultad en la realización del control adaptativo reside en la definición e implementación de los algoritmos de control que forman parte del bloque Ley de Adaptación.

En el apartado siguiente explicaremos cuáles son los mecanismos que se deben seguir para la implementación de un sistema de control adaptativo. Prestaremos especial atención a la base matemática que soporta la realización de los algoritmos de control que determinan el valor de los parámetros de control proporcional, derivativo e integral.

Nos estamos refiriendo a cómo diseñar las Leyes de Adaptación o Control de los parámetros del regulador.

5.2 Cálculo de parámetros

Para el diseño de controladores adaptativos se necesita explicar una serie de mecanismos de base matemática [8].

Como se ha visto en el esquema anterior, un sistema de control adaptativo está formado por tres partes:

- 1) Un control primario que actúa sobre el error del sistema (e) minimizándolo.
- 2) Un modelo de referencia.
- 3) La Ley de Adaptación.

Por lo tanto, para el diseño de un sistema de control adaptativo será necesario definir las tres partes. Como la parte que caracteriza al control adaptativo es la Ley de Adaptación, en lo que sigue, nos centraremos fundamentalmente en esta parte.

1) Control primario.

El controlador primario puede tener en principio cualquiera de las configuraciones conocidas para el diseño de controladores lineales. Únicamente debe de cumplir la condición de que sea posible que controlador y proceso puedan reproducir al modelo de referencia. Este requisito supone restricciones sobre el orden del controlador.

De cualquier forma, el control primario se comporta como un esquema estándar de control de sistemas en bucle cerrado minimizando el error del sistema (e) y el controlador puede ser perfectamente una estructura de regulador PID estándar, sólo que con parámetros variables en lugar de constantes.

2) Modelo de referencia.

El modelo de referencia, que especifica el comportamiento deseado en bucle cerrado es elegido de forma libre desde el exterior. No obstante, la elección del modelo de referencia no puede hacerse a la ligera, pues el modelo elegido debe ser sensible a la dinámica del proceso. Si, por ejemplo, se elige un modelo con una dinámica muy rápida, la señal de control será muy grande causando la saturación de la señal de salida del controlador y no pudiendo el sistema real responder a dicha dinámica. Por ello la elección de modelos de referencia no es fácil, eligiéndose normalmente un modelo conservador, esto significa que el modelo de referencia que finalmente se elija no tiene por que ser demasiado bueno, esto es un sistema muy rápido y de ganancia unidad. Bastará con un sistema con una dinámica algo más lenta y ganancia algo por debajo de la unidad.

Además la Ley de Adaptación y el sistema de control adaptativo conseguirán no sólo que el modelo real siga al modelo de referencia, sino que incluso mejore el comportamiento del sistema ideal. En este caso resultará un modelo real corregido que es mejor que el modelo de referencia. Por esta razón deducimos también que el modelo ideal debe ser el más conservador de entre los sistemas de referencia elegidos.

3) Ley de Adaptación.

Existen varias formas de diseñar las leyes de adaptación para los parámetros de control de la regulación. Pero en este caso sólo nos referiremos a la que emplearemos en el desarrollo de este proyecto. Nos referimos al denominado Enfoque de Sensibilidad.

Este método está basado en el uso de modelos de sensibilidad para adaptar los parámetros en la dirección correcta. La deducción de este método comienza con al planteamiento de un índice de actuación, normalmente cuadrático:

$$\Gamma(t) = \int_t^{t+T} \Delta Y^2(\tau) d\tau$$

En esta ecuación $\Delta Y(t) = Y_M(t) - Y(t)$ y el índice $\Gamma(t)$ se evalúa sobre el periodo fijo T, en el cuál los parámetros permanecen constantes. En el instante (t + T) los parámetros son ajustados en la dirección creciente de Γ .

CAPÍTULO 5: Control Adaptativo

De esta forma la ley de variación se puede escribir como:

$$\Theta(t+T) = \Theta(t) - \delta \frac{\partial \Gamma}{\partial \Theta} = \Theta(t) - \delta \int_t^{t+T} 2\Delta Y(\tau) \frac{\partial \Delta Y(\tau)}{\partial \Theta} d\tau$$

δ debe ser una matriz cuadrada definida positiva, que representa la ganancia de adaptación, normalmente es diagonal. Teniendo en cuenta que:

$$\frac{\partial \Delta Y(t)}{\partial \Theta} = \frac{\partial Y}{\partial \Theta}$$

la ecuación anterior queda como:

$$\frac{\Theta(t+T) - \Theta(t)}{T} = -\frac{1}{\delta} \int_t^{t+T} 2\Delta Y(\tau) \frac{\partial Y}{\partial \Theta} d\tau$$

que en el límite para $T \rightarrow \infty$ da la Ley de Adaptación:

$$\frac{d\Theta}{dt} = -2\delta \Delta Y \frac{\partial Y}{\partial \Theta}$$

En esta ley de adaptación:

Θ es el parámetro del regulador. Puede ser cualquiera de los tres parámetros básicos de regulación (proporcional, adaptativo o integral).

$\frac{d\Theta}{dt}$ es la variación de ese parámetro en el tiempo.

ΔY es lo que antes hemos llamado error de salida, que es igual a $Y_M - Y$.

Y es la señal de salida del sistema real.

$\frac{\partial Y}{\partial \Theta}$ representa la sensibilidad de la salida del proceso a las variaciones en Θ .

δ representa la Ganancia de Adaptación. Éste será un parámetro que se debe determinar desde la acción de control. Es parte esencial del algoritmo matemático que define la Ley de Adaptación de los parámetros de control, por tanto el valor escogido será determinante en el éxito del control.

Esta Ley de Adaptación es la misma que la denominada Regla del MIT (Massachusetts Institute of Technology). En lo sucesivo, todos los algoritmos de control que realicemos los haremos basándonos en esta ecuación.

La principal desventaja de este método es la ausencia de un criterio que garantice la estabilidad del sistema de control. El sistema puede hacerse inestable si el modelo de referencia no se escoge adecuadamente o si la ganancia de adaptación se elige demasiado grande.

Normalmente para que el modelo real se estabilice y siga convenientemente al modelo de referencia se debe dar a la ganancia de adaptación un valor positivo, que suele estar próximo a cero. La experiencia nos dirá que debe ser menor que la unidad, de este modo el sistema no se hará inestable. No obstante, para cada caso particular de regulación el ajuste de la ganancia de adaptación tendrá un valor diferente.

En adelante incluiremos una sección donde realizaremos el cálculo y simulación de sistemas con control adaptativo. Utilizaremos la expresión general de la Ley de Adaptación para la determinación de los algoritmos matemáticos que definen la naturaleza cambiante de los parámetros proporcional, integral y derivativo.

De cualquier forma, antes de pasar al mencionado apartado enunciaremos una serie de características generales del control adaptativo, como finalización a esta explicación sobre el funcionamiento de los sistemas de control adaptativo.

Características del control adaptativo por modelo de referencia (MRAS):

(a) El Modelo de Referencia escogido fuerza al control a seguir este modelo prescrito. Incluso, gracias al control adaptativo, se puede conseguir un mejor comportamiento del sistema controlado respecto del de referencia.

(b) El control adaptativo funciona gracias al ajuste de una serie de parámetros libres. Estos son las Ganancias de Adaptación (δ) para cada uno de los algoritmos de adaptación correspondientes a los parámetros de control del regulador. El ajuste de estas ganancias se realiza mediante el mecanismo de prueba y error. No obstante, se suele empezar por valores lo más pequeños posible (próximos a cero), para luego ir aumentando su valor hasta conseguir un buen ajuste.

(c) La elección de modelos de referencia requiere el conocimiento del modelo del proceso real así como del comportamiento del lazo de control. Normalmente se elige un modelo de referencia conservador, para que la señal de salida del regulador no se sature, haciendo inútil la acción de control.

(d) El conocimiento del modelo real en los sistemas de control adaptativo no suele ser sencillo y, en muchas ocasiones, no llega a conocerse. Debido a esta dificultad y a la necesidad de tener un modelo real para, a partir de éste, determinar el más adecuado modelo de referencia, se suelen emplear técnicas de identificación de sistemas para tener un modelo lo más próximo posible al modelo real.

La identificación del modelo real puede hacerse paralelamente al sistema de control adaptativo, pero lo más sencillo es hacer una identificación previa al control adaptativo. De forma que más tarde el bucle de control sólo queda referido a la aplicación de técnicas de control adaptativo.

En el bucle de control la función de transferencia del modelo real está siendo identificada mientras dure el control, de modo que los parámetros del sistema están cambiando continuamente, esta información se pasa a las Leyes de Adaptación que calculan los parámetros de control, y éstos se modifican en consonancia con esa variación.

Esquema de regulación

Para sintetizar únicamente vamos a centrarnos el esquema de regulación que se va a analizar y el cálculo de las Leyes de Adaptación necesarias para el desarrollo del controlador. Para más información teórica sobre el control adaptativo MRAS con función de transferencia fija, que es el caso que vamos a analizar, se pueden consultar trabajos anteriores [8].

El esquema de regulación escogido es el mismo que en el caso del controlador analógico y discreto. En este caso el regulador PID distribuirá sus parámetros del modo siguiente:

El parámetro proporcional (K_P) actuará sobre el error ($e = w - x$). La naturaleza de este parámetro diremos que es adaptativa, pues su valor se irá modificando durante el control.

El parámetro derivativo (T_d) actuará sobre la velocidad. La naturaleza de este parámetro es también adaptativa, como la de K_P .

En un diagrama de bloques podemos ver de un modo más claro la forma del esquema de control:

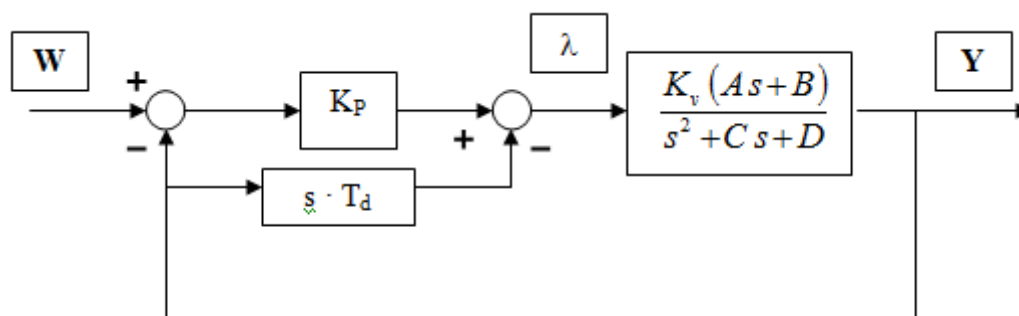


Figura 41. Esquema general del sistema controlado

En este diagrama la señal de control que se obtiene del regulador es $\lambda(t)$, que tiene exactamente la misma expresión que en un regulador discreto.

Por otro lado, la derivada se ha sustituido por su equivalente en el espacio continuo, s. Esta operacion afecta al parámetro T_d .

Para calcular los valores de K_p y T_d se utilizan las Leyes de Adaptación:

La **Ley de Adaptación para el parámetro K_p** es:

$$K_p(k) = (c+1) \cdot K_p(k-1) - (d+c) \cdot K_p(k-2) + d K_p(k-3) + \delta_1 T_m (a Y(k-1) + b Y(k-2))$$

donde δ_1 es la **Ganancia de Adaptación** del parámetro K_p , ganancia que tendremos que ajustar y elegir para conseguir un control óptimo.

Hechos estos cálculos, la obtención de la Ley de Adaptación para el parámetro T_d se puede obtener de un modo más directo y sencillo.

La **Ley de Adaptación para el parámetro T_d** es:

$$T_d(k) = (c+1) \cdot T_d(k-1) - (d+c) \cdot T_d(k-2) + d T_d(k-3) + \delta_2 T_m (e \Psi(k) + f \Psi(k-1) - g \Psi(k-2))$$

donde:

$$\Psi(k) = [Y(k) - Y_m(k)] \cdot Y(k)$$

siendo δ_2 es la **Ganancia de Adaptación** del parámetro T_d , ganancia que tendremos que ajustar y elegir para conseguir un control óptimo.

Simplemente sustituyendo a, b, c, d, e y f por sus valores, como consecuencia de elegir un modelo ideal, podremos mostrar la expresión final de las leyes de adaptación de los parámetros de control.

5.3 Resultados en simulación

Se van a realizar simulaciones en 2 tipos de controles adaptativos, en un MRASP y en MRASPD.

Al igual que para la simulación del control fraccionario, es necesario representar la plataforma en el esquema Simulink discretizando la función que la

representa (4). Esto se consigue aplicando dos comandos en el espacio de trabajo de Matlab:

```
sys=tf([1.0908],[0.2074 1])  
sysd=c2d(sys,0.01,'zoh')
```

Controlador MRASP

El esquema Simulink utilizado para la simulación de este controlador es el representado en la Figura 42.

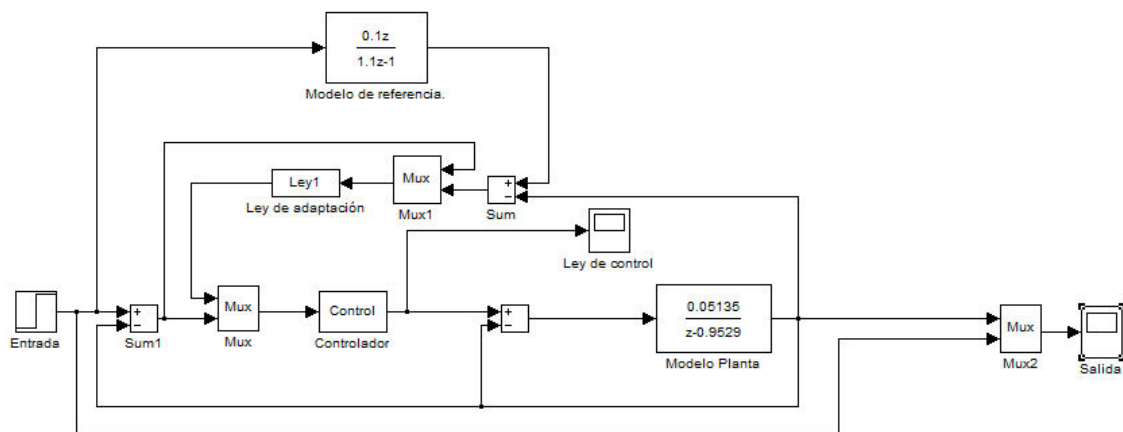


Figura 42. Esquema Simulink para simulación control MRASP

Comportamiento sin perturbación

En la Figura 43 Vemos la salida resultante de este controlador. En ella podemos observar cómo la señal de salida no llega al valor de referencia pero también podemos ver que no tiene valores de pico. Además, es una señal muy constante sin oscilaciones, lo que hace que el posicionamiento sea muy exacto.

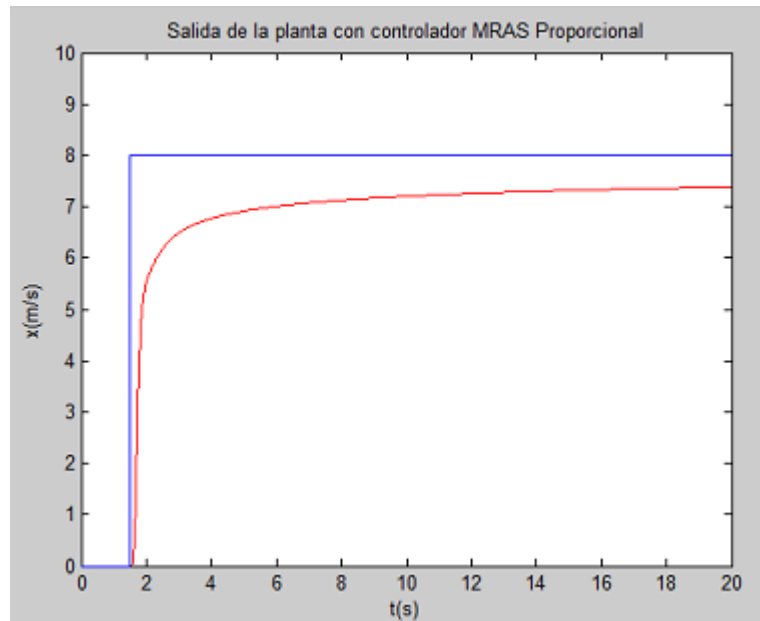


Figura 43. Salida del control adaptativo MRASP

En la figura anterior también podemos observar que el sistema es muy lento porque no llega a un estacionario pasados los 20s de la simulación

En cuanto a la señal de control podemos verla representada en la Figura 44. Se puede apreciar que es bastante constante.

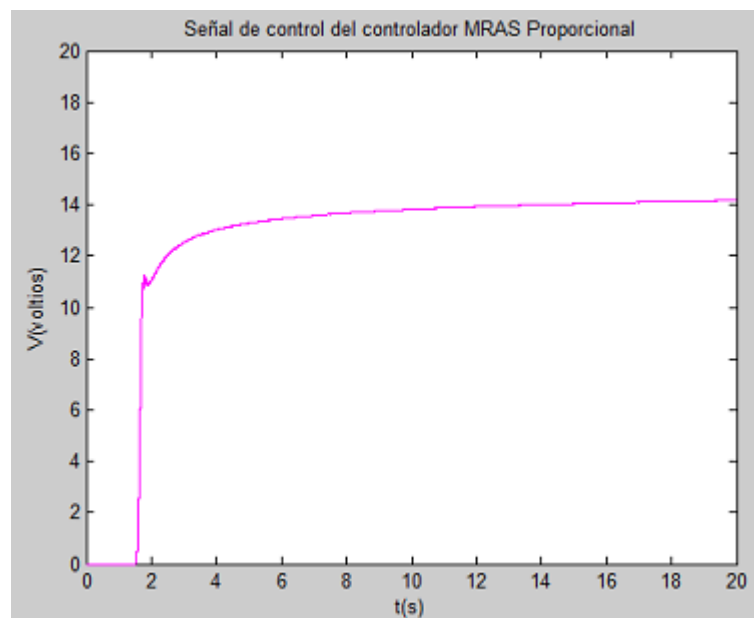


Figura 44. Señal de control del control adaptativo MRASP

Comportamiento con perturbación

Se ha realizado una simulación con el efecto de una perturbación con el fin de comprobar que el control adaptativo también es robusto. Esto queda demostrado en la Figura 45 y 46.

En la Figura 45 vemos las salidas del sistema con y sin masa prácticamente superpuestas.

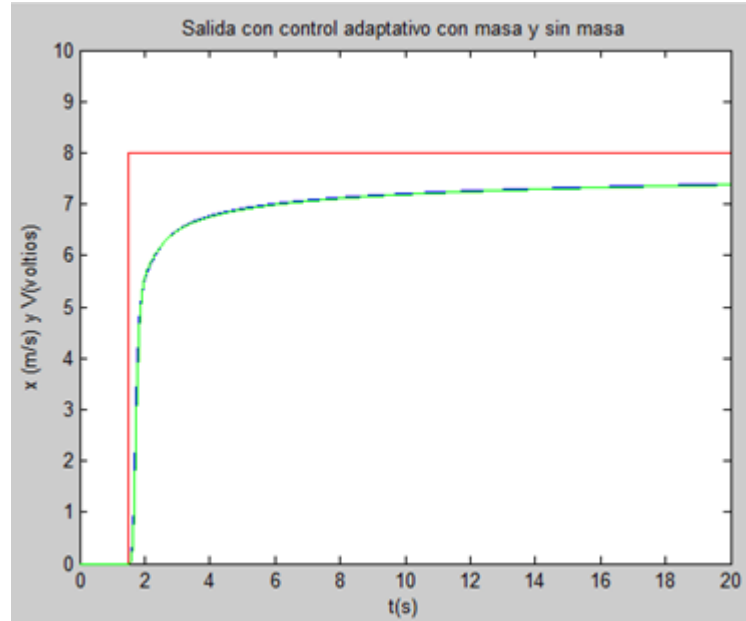


Figura 45. Salida sin y con masa del control adaptativo MRASP

En la Figura 46 podemos observar cómo la forma de las señales de control con y sin masa son muy parecidas, la diferencia de magnitud se debe a que un sistema con mayor masa necesita una mayor energía para seguir a la señal de referencia.

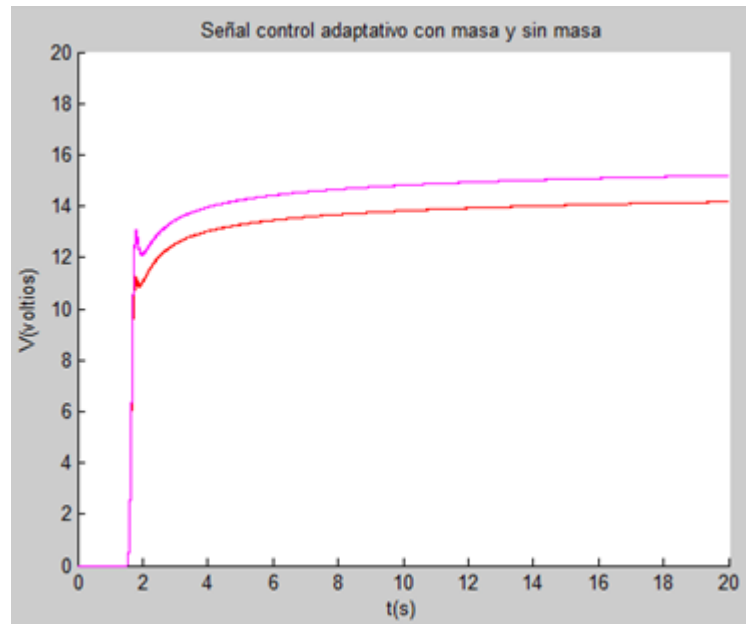


Figura 46. Señal de control sin y con masa del control adaptativo MRASP

Controlador MRASPD

El esquema Simulink utilizado para la simulación de este controlador es el representado en la Figura 47.

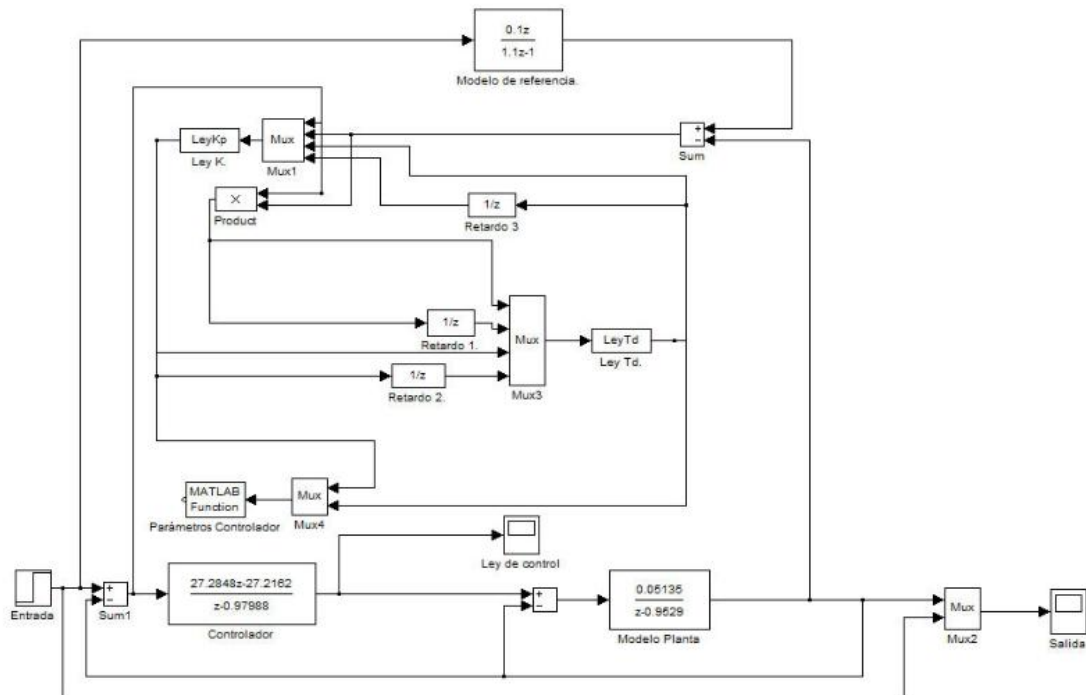


Figura 47. Esquema Simulink para simulación control MRASPD

En la Figura 48 vemos la salida resultante de este controlador. En ella podemos observar cómo la señal de salida no llega al valor de referencia pero también podemos ver que no tiene valores de pico, aunque esta señal es bastante oscilante.

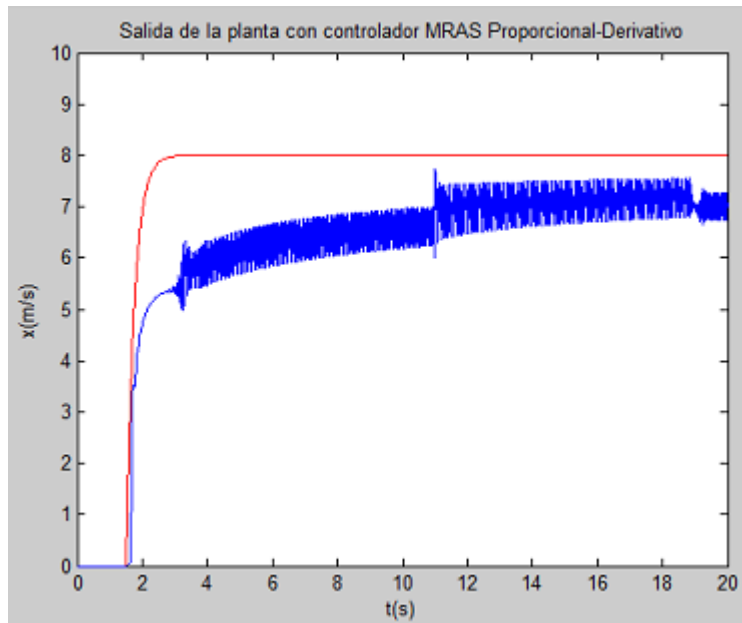


Figura 48. Salida del control adaptativo MRASPD

En cuanto a la señal de control podemos verla representada en la Figura 49. Se puede apreciar que es una señal muy oscilante y nada apropiada para un control real de la plataforma. En el caso de usar dicha señal, habría que tener la precaución de filtrarla para que actuara con su valor medio sobre el sistema.

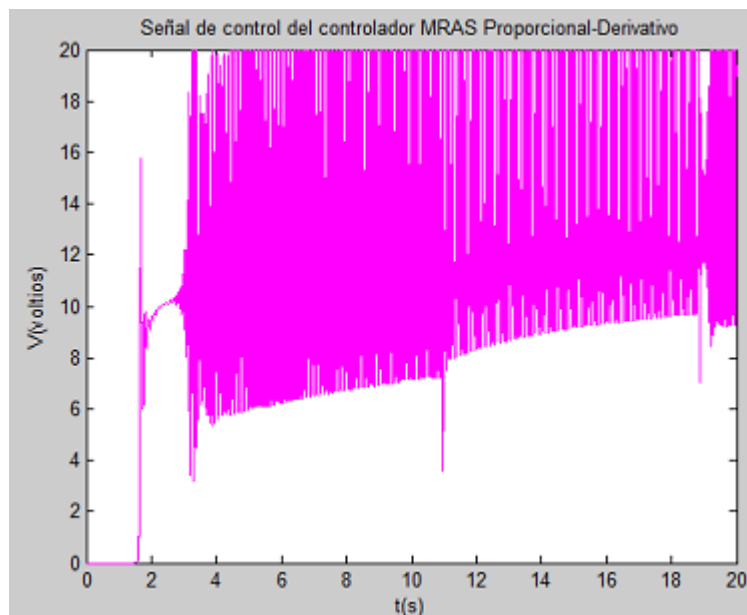


Figura 49. Señal de control del control adaptativo MRASPD

Después se ajusto más el controlador y se consiguieron unos resultados bastante mejores, que son los representados por las Figuras 50 y 51. La señal de control es mejor pero debemos tener las mismas precauciones antes comentadas, sin embargo, en el caso de la señal de salida, ahora si que llega al valor de referencia pero tiene pequeñas oscilaciones.

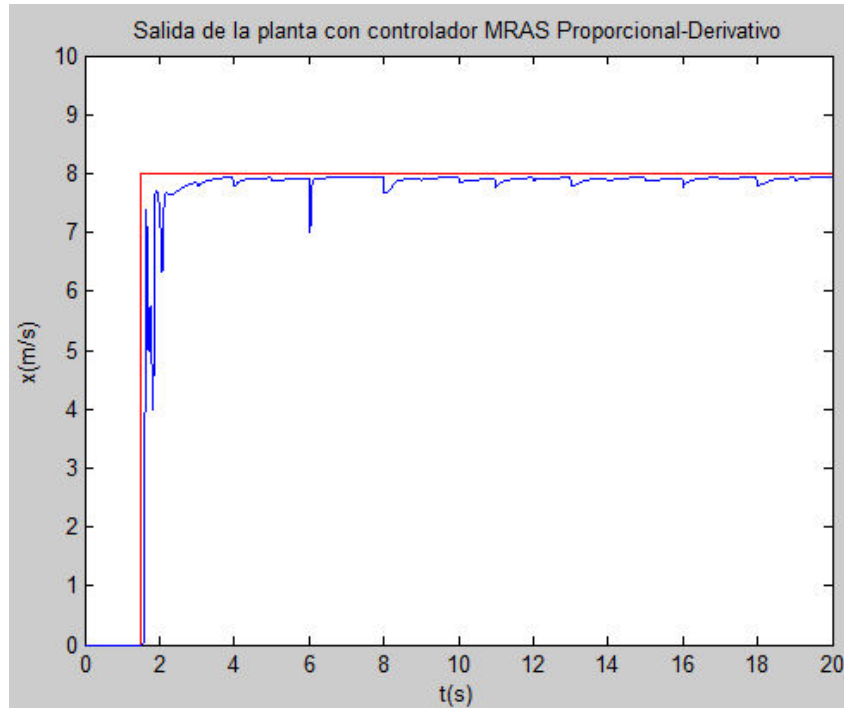


Figura 50. Señal de salida del control adaptativo MRASPD mejorada

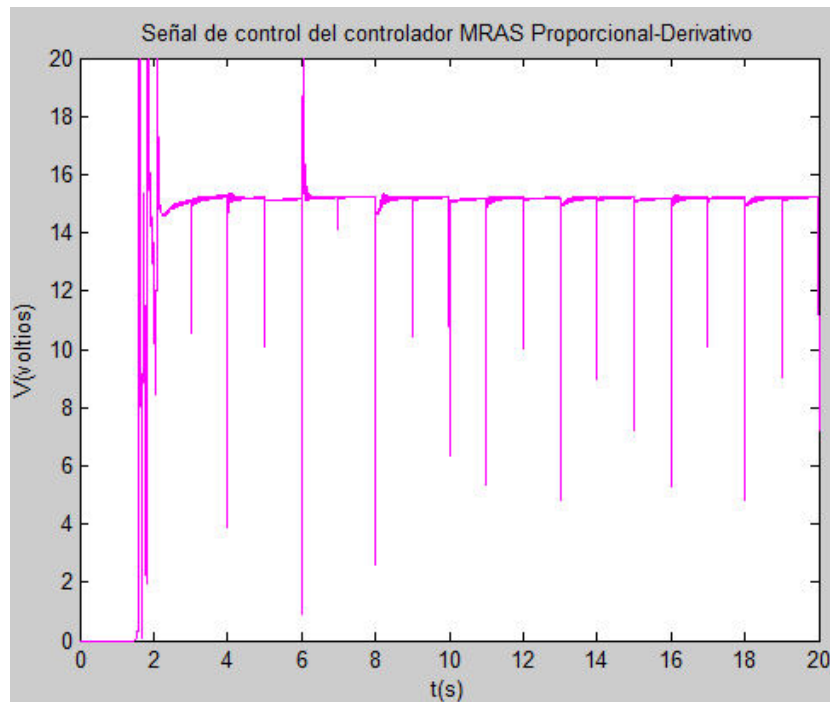


Figura 51. Señal de control del control adaptativo MRASPD mejorada

Elección entre MRASP y MRASPD

A la vista de las gráficas vemos que la mejor opción es la de elegir el circuito MRASP porque, además de que su señal de control es bastante buena, la señal de salida (el posicionamiento de la corredera del cilindro) también lo es.

El MRASPD tiene una señal de control muy mala y la de salida no es tan buena como la del MRASP, esto puede deberse a que habría que ajustar la parte derivativa del circuito.

Por esta razón, la comparativa que se llevará a cabo en el capítulo siguiente entre el control fraccionario y el adaptativo se hará con el control adaptativo MRASP.

5.4 Resultados en la planta real

En un primer momento se pretendían probar los circuitos adaptativos en la plataforma, pero estos circuitos en Simulink tenían bloques tipo S-Function. Este tipo de bloques para poder ser usados en tiempo real necesitan unas implementaciones especiales.

Matlab mandaba mensajes de error en los que pedía la creación de archivos TLC o escribir directamente estos bloques en archivos CMEX, otra opción que se estudio fue la de convertir estos bloques S-Function en bloques normales de Matlab.

Se comenzaron a desarrollar archivos TLC pero los resultados obtenidos, después de un largo periodo de tiempo, no fueron muy satisfactorios.

La complejidad que tiene conseguir poner en funcionamiento el control adaptativo en tiempo real hace a esta finalidad objeto de estudio de un único proyecto.

Finalmente se desechó la idea y se decidió realizar la comparación sólo con la simulación de este tipo de control.

Capítulo 6

Comparativa Entre Estrategías

Como hemos hecho anteriormente para hacer la comparativa entre las dos estrategias, el control fraccionario y el adaptativo MRASP, nos fijaremos en la salida de los distintos sistemas y en la señal de control de estos.

En la Figura 52 vemos las dos salidas de los dos sistemas. En ella podemos observar:

Que el control adaptativo es más rápido que el fraccionario. Esto se puede comprobar en la gráfica, viendo cómo llega antes a la posición que representan los 6V de salida. La señal roja que representa al control fraccionario llega a estos 6V pasados los 2 segundos, mientras que el adaptativo representado por la señal rosa lo hace en menos de 2 segundos.

Sin embargo, también podemos comprobar que el control fraccionario tiene un valor de pico que supera la posición de referencia y que tras éste, se estabiliza llegando a esta posición, mientras que en el control adaptativo no llega a alcanzar la posición de referencia. En cambio, también podemos observar que el movimiento es mucho más uniforme en el control adaptativo.

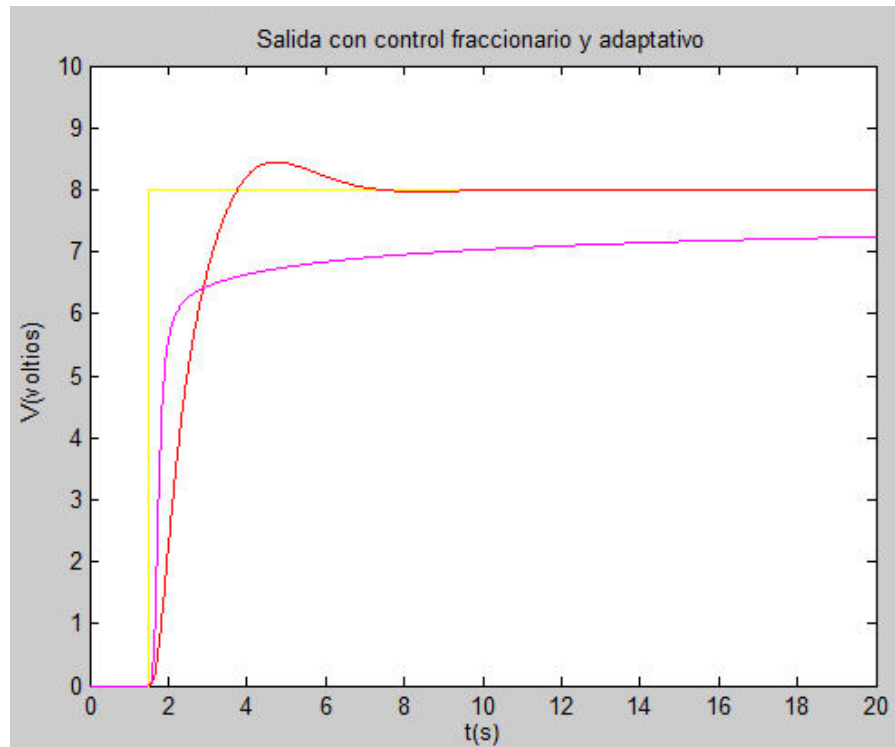


Figura 52. Salida de control fraccionario y adaptativo

En la Figura 53 podemos ver las señales de control de las dos estrategias y éstas tienen una tendencia que justifica las de las señales de la salida, anteriormente comentadas.

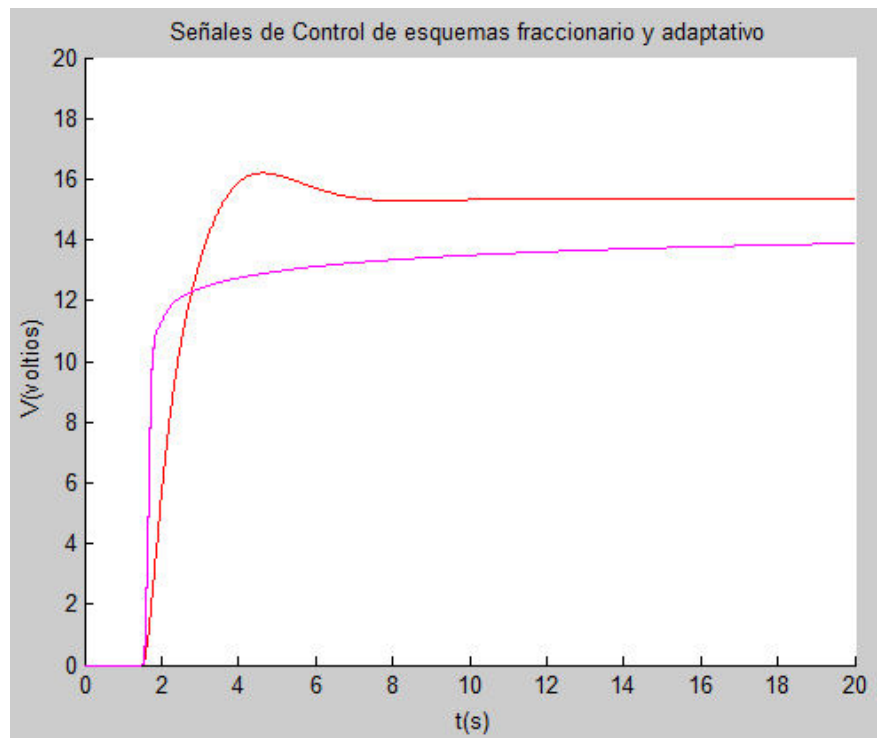


Figura 53. Señal de control de control fraccionario y adaptativo

Capítulo 7

Conclusiones y Trabajos futuros

Los objetivos principales del proyecto consistían en trasladar la plataforma al emplazamiento nuevo (con el nuevo ordenador, tarjeta y válvula) y poner en funcionamiento el control fraccionario allí (comprobando que todo funcionaba de igual forma a como lo hacía antes del traslado). Esto se consiguió y además se realizaron pruebas para mejorar la respuesta del control fraccionario.

Después se pretendía hacer lo mismo con el control adaptativo, pero estos circuitos presentaban bloques no reconocidos por Real Time Workshop. De manera que Matlab pedía crear unos archivos .tlc o CMEX para solucionarlo. Después de estar investigando y probando con todas estas cosas, sin resultados satisfactorios, se llegó a la conclusión de que este debía ser el único objetivo de otro trabajo futuro.

Por último se pretendía hacer una elección sobre la mejor estrategia, en base a la plataforma neumática.

Esto no se consiguió y se decidió realizar la comparación de estrategias con el control adaptativo a nivel de simulación.

Finalmente, después de los resultados expuestos en este proyecto, se podría decir que la estrategia que consigue los objetivos propuestos es la del sistema de control fraccionario. Aunque es cierto que la elección dependerá de las especificaciones que se deseen y la aplicación concreta, ya que ambos controladores son robustos y cumplen con el posicionamiento correcto del cilindro. De manera que para realizar una comparación

CAPÍTULO 7: Conclusiones y Trabajos futuros

exacta se deberán saber estas especificaciones, y en base a eso, en unas ocasiones será conveniente utilizar uno u otro tipo de controlador.

Como futuros trabajos podríamos mencionar varias ideas para mejorar este trabajo, como son:

Realizar aun más pruebas con la aplicación que calcula el controlador fraccionario. Modificando las especificaciones se pueden conseguir unos parámetros de salida que, al realizar las simulaciones y experimentación sobre la planta real, permitan obtener resultados más satisfactorios.

Conseguir poner en funcionamiento en la planta real el control adaptativo. Para esto se debería seguir indagando en la posibilidad de la utilización de los archivos .tlc, CMEX, directamente utilizando archivos en lenguaje C o la transformación de los circuitos de control adaptativo a otros que pudiera entender Real Time Workshop. De esta forma se podrá realizar una comparación mucho más exacta del funcionamiento real de ambas estrategias de control.

Capítulo 9

Bibliografía

MANUALES

- [1] “Neumática en bucle cerrado”. FESTO, 1995
- [2] “Datasheet válvula de mantenimiento LFR-D-5M MIDI”. FESTO, 2010
- [3] “Manual de funcionamiento PCI-1711S”. Advantech, 2011
- [4] “Datasheet servoválvula MPYE-5-1/8-HF-010-B”. FESTO

CURSOS

- [5] “Curso de Control Inteligente” Laboratorio de Automática Universidad Carlos III de Madrid. Diego Gachet, 1995

TESIS DOCTORALES

- [6] “Design Methods of Fractional Order Controller for Industrial Applications”, Tesis Doctoral de Dña. Concepción Alicia Monje Micharet, Universidad de Extremadura, 2006

PROYECTOS FIN DE CARRERA

[7] “Posicionador Electroneumático”, Sergio Fernández Pacheco, Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid, Julio 1999.

[8] “Modelado y Contro Robusto de un Cilindro Neumático”, Manuel A. Fuentes Chillarón, Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid, Junio 2009.

DIRECCIONES DE INTERNET

[9] <http://www.festo.com>

[10] <http://www.advantech.com>

La fecha de consulta de estas direcciones ha sido de Septiembre de 2010 a Mayo de 2012.

Capítulo 10

Anexos

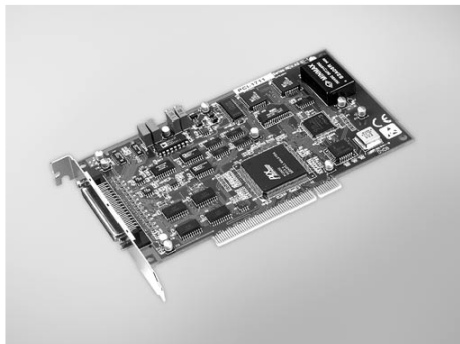
Tarjeta de Adquisición de datos PCI 1711 ADVANTECH

Válvula de mantenimiento LFR-D-5M-MIDI FESTO

Servoválvula MPYE-5-1/8-HF-010-B FESTO

PCI-1711/L

Entry-level 100 kS/s, 12-bit, 16-ch
PCI Multifunction Card



Features

- 16-ch single-ended analog input
- 12-bit A/D converter, with up to 100 kHz sampling rate
- Programmable gain
- Automatic channel/gain scanning
- Onboard FIFO memory (1,024 samples)
- Two 12-bit analog output channels (PCI-1711 only)
- 16-ch digital input and 16-ch digital output
- Onboard programmable counter

Introduction

PCI-1711 and PCI-1711L are powerful, but low-cost multifunction cards for the PCI bus. PCI-1711 comes with 2 analog output channels, while the PCI-1711L doesn't. Thus, PCI-1711L represents a cost saver for those that do not need analog output.

Specifications

Analog Input

- Channels 16 single-ended
- Resolution 12 bits
- Max. Sampling Rate 100 kS/s
- FIFO Size 1,024 samples
- Overvoltage Protection 30 Vp-p
- Input Impedance 2 M Ω /5 pF
- Sampling Modes Software, onboard programmable pacer, or external
- Input Range (V, software programmable)

Bipolar	± 10	± 5	± 2.5	± 1.25	± 0.625
Accuracy (% of FSR ± 1 LSB)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4

Analog Output (PCI-1711 only)

- Channels 2
- Resolution 12 bits
- Output Rate Static update
- Output Range (V, software programmable)

Internal Reference	Unipolar	0 ~ +5, 0 ~ +10
External Reference		0 ~ +x V @ -x V (-10 \leq x \leq 10)

- Slew Rate 11 V/ μ s
- Driving Capability 3 mA
- Output Impedance 0.81 Ω
- Operation Mode Software polling
- Accuracy INLE: ± 1 LSB
DNLE: ± 1 LSB

Digital Inputs

- Channels 16
- Compatibility 5 V/TTL
- Input Voltage Logic 0: 0.8 V max.
Logic 1: 2.0 V min.

Digital Outputs

- Channels 16
- Compatibility 5 V/TTL
- Output Voltage Logic 0: 0.8 V
Logic 1: 2.0 V
- Output Capability Sink: 8.0 mA @ 0.8 V
Source: -0.4 mA @ 2.0 V

Pacer/Counter

- Channels 1
- Resolution 16 bits
- Compatibility 5 V/TTL
- Max. Input Frequency 10 MHz
- Reference Clock Internal: 10 MHz

General

- Bus Type PCI V2.2
- I/O Connector 1 x 68-pin SCSI female connector
- Dimensions (L x H) 175 x 100 mm (6.9" x 3.9")
- Power Consumption
 - PCI-1711 Typical: +5 V @ 850 mA
Max: +5 V @ 1.0 A
 - PCI-1711L Typical: +5 V @ 700 mA
Max: +5 V @ 1.0 A
- Operating Temperature 0 ~ 60° C (32 ~ 140° F) (refer to IEC 68-2-1, 2)
- Storage Temperature -20 ~ 70° C (-4 ~ 158° F)
- Storage Humidity 5 ~ 95% RH non-condensing (refer to IEC 68-2-3)

ADVANTECH

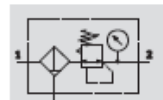
Data Acquisition Boards

Unidades de filtro y regulador LFR/LFRS, serie D, ejecución metálica

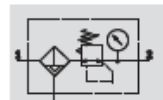
FESTO

Hoja de datos

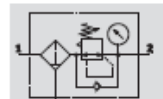
LFR/LFRS...-MICRO/MINI/MIDI
Purga de condensado manual,
con giro; con manómetro



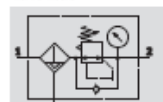
Purga de condensado semiautomática
o automática, con manómetro



LFR/LFRS...-MAXI
Purga de condensado manual,
con giro; con manómetro



Purga de condensado automática, con
manómetro



- Caudal
110 ... 11 000 l/min
- Temperatura
-10 ... +60 °C
- Presión de entrada
1 ... 16 bar



- Función de filtración y regulación en una sola unidad para ahorrar espacio
- Gran capacidad de retención de partículas y gran caudal
- Buenas características de regulación con histéresis pequeña
- Dos márgenes de regulación de la presión: 0,5 ... 7 bar y 0,5 ... 12 bar
- Dos conexiones para manómetros para una instalación más versátil
- Aseguramiento de los valores ajustados mediante botón giratorio bloqueable
- Con purga manual, semiautomática o automática del condensado
- A elegir entre cartuchos de 5 µm o 40 µm
- Nuevos cartuchos filtrantes → 34
- Sensor de presión (opcional) → 35

Datos técnicos generales													
Tamaño	Micro					Mini			Midi				Maxi
Conexión neumática	M5	M7	G1/8	QS4	QS6	G1/8	G1/4	G3/8	G1/4	G3/8	G1/2	G3/4	G1
Fluido	Aire comprimido												
Construcción	Unidad de filtro y regulador, con o sin manómetro												
Tipo de fijación	Con accesorios												
	Montaje en línea												
Posición de montaje	Vertical ± 5°												
Seguridad contra accionamiento involuntario	Botón giratorio con enclavamiento												
	-					Botón giratorio con cerradura integrada							
Grado de filtración [µm]	5					5 ó 40							
Histéresis máxima de la presión [bar]	0,3					0,2							0,4
Margen de regulación de la presión [bar]	0,5 ... 7					0,5 ... 7							
						0,5 ... 12							
Indicación de presión	Con manómetro												
	M5 en preparación					G1/8 en preparación			G1/4 en preparación				G1/4 en preparación
Cantidad máx. de condensado [cm ³]	3					22			43				80 ¹⁾
Presión de entrada [bar]													
Purga de condensado	Manual con giro	1 ... 10				1 ... 16							
	Semiautomática	1 ... 10				-							
	Automática	-				2 ... 12							

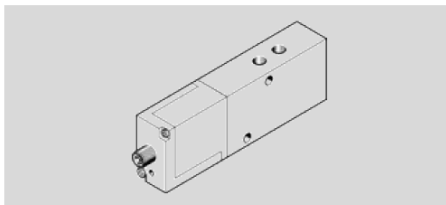
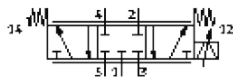
1) En LFR/LFRS...-DI-MAXI, la cantidad máxima de condensado es de 43 cm³.

! Importante: Este producto cumple con los estándares ISO 1179-1 e ISO 228-1

Hoja de datos: Válvula posicionadora MPYE-5-1/8-HF-010-B – 151693

FESTO

Función



Caracter.	Propiedades
Diámetro nominal	6 mm
Tipo de accionamiento	eléctrico
Principio de hermetización	duro
Posición de montaje	indistinto
Construcción	Corredera
Tipo de reposición	Muelle magnético
Medidas de seguridad	Posición de seguridad MPYE: en caso de una ruptura del cable de alimentación, avence hacia la posición intermedia bloqueada
Tipo de control	directo
Sentido del flujo	no reversible
Función de las válvulas	cerrado
	5/3
Polos inconfundibles	para todas las conexiones eléctricas
Presión de funcionamiento	0 - 10 bar
Valor B	0,26
Valor C	3,1 l/sbar
Caudal nominal normal	700 l/min
Histéresis máxima	0,4 %
Margen de tensión de funcionamiento DC	17 - 30 V
Ondulación residual	5 %
Valores NOMINAL/REAL	Tipo de tensión 0 - 10 V
Fluido	Aire comprimido filtrado, sin lubricar, grado de filtración de 5 µm
Marcado CE (ver declaración de conformidad)	Según la normativa UE sobre EMC
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2
Temperatura del medio	5 - 40 °C
Tipo de protección	IP65
Temperatura ambiente	0 - 50 °C
Homologación	C-Tick
Peso del producto	330 g
Conexión eléctrica	Conector M12x1 4 contactos forma redondo
Tipo de fijación	con taladro pasante
Conexión neumática 1	G1/8
Conexión neumática 2	G1/8
Conexión neumática 3	G1/8
Conexión neumática 4	G1/8
Conexión neumática 5	G1/8
Información sobre el material de la tapa	ABS recubierto
Información sobre el material de las juntas	NBR
Información sobre el material del cuerpo	Aluminio anodizado

